

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie - Großhadern

Klinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Jens Ricke

***Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS) in der  
Verlaufsbeurteilung bei Patienten nach endovaskulärer  
Aortenreparatur (EVAR)***

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Elena Nelles

aus

Düsseldorf

Jahr

2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Johannes Rübenthaler

Mitberichterstatter: PD Dr. med. Sven Peterß  
PD Dr. med. Harald Kramer

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Katharina Müller-Peltzer

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2022

Für meine Eltern

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Abdominelles Aortenaneurysma	2
1.1.1	Ätiologie und Risikofaktoren	2
1.1.2	Einteilung	3
1.1.3	Epidemiologie	4
1.1.4	Verlauf	4
1.2	Stellenwert der Bildgebung	5
1.2.1	Sonographie	5
1.2.2	Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS)	6
1.2.3	Computertomographie (CT)	7
1.2.4	Weitere bildgebende Verfahren	7
1.2.4.1	Magnetresonanztomographie (MRT)	7
1.2.4.2	Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)	8
1.3	Therapie abdomineller Aneurysmen	8
1.3.1	Offene Aortenreparatur	9
1.3.1.1	Vorgehen	10
1.3.1.2	Komplikationen	10
1.3.1.3	Nachsorge	11
1.3.2	Endovaskuläre Versorgung (EVAR)	11
1.3.2.1	Vorgehen	12
1.3.2.2	Komplikationen	14
1.3.2.2.1	Endoleaks	15
1.3.2.2.2	Weitere Komplikationen	21
1.3.2.3	Nachsorge	22
<b>2</b>	<b>Ziel der Dissertation</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methodik</b>	<b>24</b>
3.1	Patientenkollektiv	24
3.1.1	Auswahl der Patienten	24
3.1.2	Gruppenmerkmale	24
3.2	Datenerhebung	26
3.2.1	Vorgehensweise bei der Datenerhebung	26
3.2.2	Auswertung von CEUS und CT	26
3.2.3	Untersuchungszeitraum	26
3.2.4	Vergleichswerte	26
3.2.5	Datenauswertung und Statistik	27
3.3	Durchführung von CEUS	28
3.3.1	Kontrastmittel	28
3.3.2	Geräte	29
3.4	Durchführung der CT	29
3.4.1	Geräte	30
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>31</b>
4.1	Endoleaks	31
4.1.1	Charakterisierung der Patienten	31
4.1.2	Art der nachgewiesenen Endoleaks	31
4.1.3	Geschlechter- und Altersverteilung	36
4.2	Verlauf von Endoleaks und Aneurysmagröße	41
4.2.1	Zusammenhang zwischen Endoleaktyp und Aneurysmagröße	41
4.2.2	Progress von Endoleaks und Aneurysmagröße	43

4.3	Vergleich von CEUS und CT .....	48
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>52</b>
5.1	Auftreten von Endoleaks .....	52
5.2	Diagnostische Genauigkeit von CEUS und CT .....	53
5.3	Zusammenhang zwischen Art des Endoleaks und Aneurysmagröße .....	57
5.4	Progression der Endoleaks .....	57
5.5	Verlaufsuntersuchung der Aneurysmagröße .....	58
5.6	Allgemeine Vor- und Nachteile der Untersuchungsmethoden .....	60
5.7	Verlaufskontrolle nach EVAR .....	61
5.8	Limitationen .....	63
5.8.1	Untersucherabhängigkeit .....	63
5.8.2	Patienten .....	63
5.8.3	Untersuchungsprotokoll .....	64
5.9	Ausblick .....	64
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>76</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>81</b>
<b>12</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>82</b>
<b>13</b>	<b>Affidavit .....</b>	<b>83</b>

## Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
A.	Arteria
a.e.	am ehesten
AAA	Abdominelles Aortenaneurysma
ASA	American Society of Anaesthesiologists
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
bzw.	beziehungsweise
CEUS	contrast-enhanced ultrasound
CHI	Contrast Harmonic Imaging
cm	Zentimeter
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CT	Computertomographie
CTA	computertomographische Angiographie
DEGUM	Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin
DGG	Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
ESVS	European Society for Vascular Surgery
EVAR	Endovascular Aortic Repair
EZM	Extrazellulärmatrix
FKDS	Farbkodierte Duplexsonographie
ggf.	gegebenenfalls
KM	Kontrastmittel
MB	Microbubbles
MHz	Megahertz
MI	Mechanischer Index
Min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MRA	Magnetresonanztomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MS-CT	Multi-Slice Computertomographie
mSv	Millisievert
n	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid
NON-KM-MRA	nicht-kontrastmittelgestützte Magnetresonanztomographie
PACS	Picture archiving and communication system
RI	Reintervention
SMI	Superb Micro-Vascular Imaging

sog.	sogenante/r/s
TIC	Time-Intensity-Curve
TOF	Time-of-flight
V.	Vena
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
µm	Mikrometer

# 1 Einleitung

Bauchaortenaneurysmen können trotz eines asymptomatischen Verlaufs zu schwerwiegenden Komplikationen wie deren Ruptur führen, die mit einer Mortalität von 85 - 90 % einhergeht (1-4). Um der Rupturgefahr vorzubeugen wird der deutschen Bevölkerung ein Ultraschallscreening ab 65 Jahren angeboten (5). Wird eine Erweiterung der Aorta entdeckt, so besteht ab einem Größendurchmesser von 5,5 cm bei Männern und 5 cm bei Frauen eine Indikation zur invasiven Therapie des Aneurysmas (1, 2, 5). Da die endovaskuläre Aortenreparatur (EVAR) gegenüber der offenen Versorgung perioperativ mit einem geringeren Risiko einhergeht und außerdem zu kürzeren Krankenhausaufenthalten der Patienten führt, hat sich dieses als effektives minimalinvasives Therapieverfahren bewährt (1, 6). Trotz der geringeren Invasivität liegt bei der endovaskulären Behandlung eine höhere postoperative Komplikationsrate vor, wobei hier als häufigste Komplikation das Auftreten von Endoleaks hervorzuheben ist (1, 6-8). Endoleaks bezeichnen eine fortdauernde Blutzirkulation innerhalb des Aneurysmasacks, aber außerhalb des perfundierten Stentgrafts (1, 6-8). Folglich kann es zu einer weiteren Vergrößerung des Aneurysmas kommen und damit einhergehend das sekundäre Rupturrisiko erhöht werden (1, 9). Aus diesem Grund ist es von enormer Bedeutung diese Leckagen frühzeitig zu erkennen und im Verlauf zu behandeln (1, 7, 9). Daher wird in allen Leitlinien gefordert Patienten mit endovaskulär versorgtem abdominellen Aneurysma lebenslang radiologisch zu überwachen (1, 6-8). Aufgrund dessen ist man stets bemüht die Kontrollen bezüglich ihrer Verträglichkeit und Genauigkeit zu verbessern. Derzeit gibt es weltweit keine einheitlichen Leitlinien, die die Empfehlung für die Follow-Up-Untersuchungen nach EVAR auf eine bestimmte Untersuchungsmodalität beschränken, allerdings existiert in Deutschland eine S3-Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF), die zur standardisierten Ultraschallkontrolle rät (10).

Im Allgemeinen ist jedoch die computertomographische Angiographie (CTA) als Goldstandard akzeptiert (6). Aufgrund der hohen Kosten, der nicht unerheblichen Strahlenbelastung und Limitierung bei Patienten mit Störung der Nierenfunktion und des Schilddrüsenstoffwechsels ist es jedoch notwendig alternative Techniken zu identifizieren, welche mit einem potentiell geringeren Nebenwirkungsprofil einhergehen und trotzdem vergleichbare Untersuchungsergebnisse erzielen (6, 11). In den letzten Jahren hat die Untersuchung mittels kontrastmittelverstärktem Ultraschall (CEUS = von englisch „contrast-enhanced ultrasound“) immer mehr an Bedeutung gewonnen. Da CEUS ein schnelles und kostengünstiges Verfahren darstellt, ohne ionisierende Strahlung auskommt und der Gebrauch eines nephrotoxischen Kontrastmittels für die Untersuchung nicht notwendig ist, stellt dieser eine im Bezug auf die Patientenverträglichkeit bedeutsame Untersuchungsmethode dar (1, 6). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, anhand der Untersuchungsergebnisse des kontrastmittelverstärkten Ultraschalls in der Verlaufsbeurteilung bei Patienten mit endovaskulär versorgten Bauchaortenaneurysmen die Wertigkeit dieser Methode hinsichtlich der Erfassung von Endoleaks und der Aneurysmagröße zu untersuchen und mit den Ergebnissen der CTA zu vergleichen.

## **1.1 Abdominelles Aortenaneurysma**

Ein Bauchaortenaneurysma beschreibt die pathologische Erweiterung eines Gefäßabschnittes der abdominalen Aortenwand (1). Der normale Umfang einer gesunden Aorta misst infrarenal weniger als 1,7 cm und suprarenal unter 2,5 cm (12).

Üblicherweise führt die Dilatation eines Aneurysmas zu einer Vergrößerung des Gefäßdurchmessers über 150 % oder bezugnehmend auf die infrarenale Bauchaorta auf eine Größe von 3 cm oder mehr (13, 14). Bei asymptomatischen Aneurysmen gilt ein Durchmesser von 5,0 cm bei Frauen und ein Durchmesser von 5,5 cm bei Männern als kritisch und somit als invasiv behandlungsbedürftig (1, 2, 5). Aneurysmen sind zu über 90 % infrarenal bzw. juxtarenal (die Nierenarterien nicht mit einbezogen) lokalisiert, bei 5 % der Patienten sind die Nierenarterien mitbetroffen (12, 15). Sind die Nierenarterien betroffen, so lassen sich wiederum 3 % in eine pararenale Lage aufteilen, während sie in 2 % der Fälle suprarenal mit zusätzlichem Einbezug der Viszeralarterien lokalisiert sind (16). Eine Erweiterung auf die Iliakal- und Poplitealarterien liegt in 20 - 50 % der Fälle vor (15, 17).

### **1.1.1 Ätiologie und Risikofaktoren**

Ursächlich für die Entstehung eines abdominalen Aortenaneurysmas (AAA) ist ein Ungleichgewicht zwischen Synthese und Abbau der Extrazellulärmatrix (EZM) der Aortenwand, was zu einer verminderten Elastizität und Spannung der Gefäßwand führt (18). Durch den Einbau von unreifen Prokollagenen in die Gefäßwand und eine gesteigerte kollagenolytische Aktivität wird die Fähigkeit der Aorta pulsatile Wellen aufzufangen gemindert (12, 18). Charakteristika einer aneurysmatisch erweiterten Aorta sind eine verdickte Tunica Media und eine Veränderung der EZM, lumenale Thrombusbildung, Abnahme der Zelldichte der glatten vaskulären Gefäßmuskulatur, Veränderung der Hämodynamik, Angiogenese und sowohl akute als auch chronische Entzündungsherde (18). Als Auslöser werden endotheliale Mikroverletzungen, Änderungen der Flussverhältnisse oder des Mikromilieus erwogen, wobei allgemein von einer multifaktoriellen Pathogenese ausgegangen wird (18).

Zudem sind einige klinische Faktoren bekannt, welche die Gefäßwand deutlich schwächen: Die Entstehung und der Verlauf von Bauchaortenaneurysmen hängen zu 99 % mit kardiovaskulären Risikofaktoren zusammen, wobei dem Nikotinabusus eine außerordentliche Bedeutung zukommt (5, 14). Seltener ist die Ätiologie traumatisch, septisch, mykotisch oder angeboren (4, 12). Steigendes Alter, Zugehörigkeit zum männlichen Geschlecht und eine positive Familienanamnese begünstigen ebenfalls die Entstehung von abdominalen Aneurysmen (3, 12, 14). Daneben gehören Patienten mit Arteriosklerose, koronarer Herzerkrankung und peripherer arterieller Verschlusskrankheit den Risikogruppen an (3, 12). Oft sind die Aneurysmen mit einer hohen Frequenz an Komorbiditäten wie arterieller Hypertonie, Niereninsuffizienz und pulmonaler Insuffizienz assoziiert. (3, 12). Häufig sind die betroffenen Patienten ebenfalls an Diabetes mellitus erkrankt (12). Das weibliche Geschlecht und dunkle Hautfarbe gehören zu den protektiven Faktoren bezüglich der Inzidenz von Bauchaortenaneurysmen und deren Wachstum (3, 12, 14).

### 1.1.2 Einteilung

Das Aortenaneurysma lässt sich unter Berücksichtigung der betroffenen Wandschichten in drei verschiedene Formen unterteilen: Aneurysma verum, Aneurysma falsum/spurium und Aneurysma dissecans (16).

Sind alle drei Wandschichten betroffen (Intima, Media, Adventitia), so spricht man von einem echtem Aneurysma (Aneurysma verum). Es kann spindelförmig (fusiform) oder sackförmig (sakkiform) auftreten und ist nahezu ausschließlich durch degenerative (arteriosklerotische) Prozesse bedingt (16).

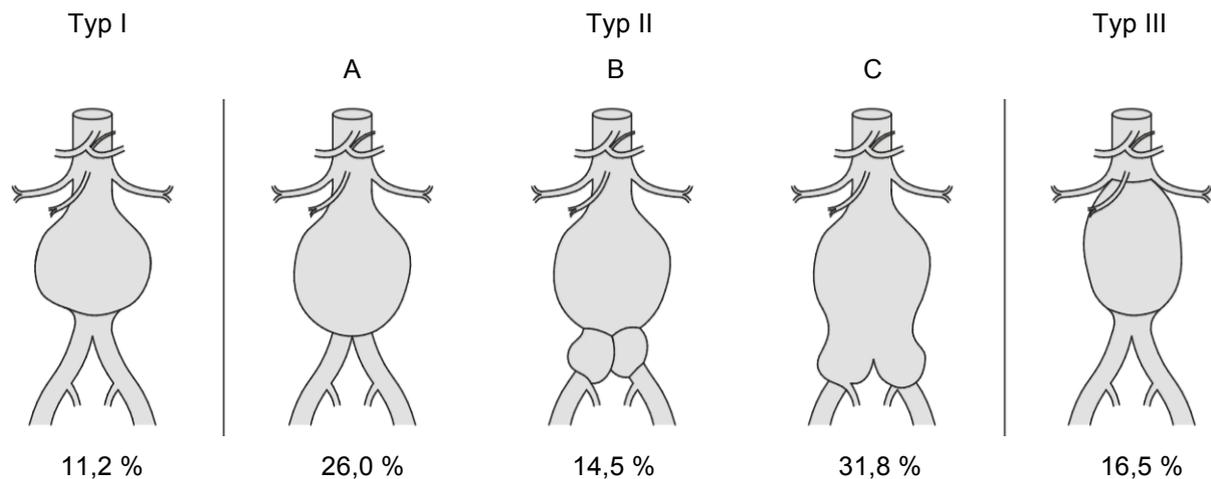
Das inflammatorische Aneurysma stellt eine Form des degenerativen Aneurysmas dar, welches durch einen entzündlichen und fibrotischen Wandaufbau charakterisiert ist (19, 20). Es ist meist auf die infrarenale Aorta beschränkt und wird in der Literatur mit einer Inzidenz zwischen 3 - 7 % aller abdominellen Bauchaortenaneurysmen angegeben (12, 21). Rund 80 % der Patienten klagen über Rücken-, Bauch- oder Flankenschmerzen (19, 20). Zusätzlicher Gewichtsverlust und eine erhöhte Blutsenkungsgeschwindigkeit im Zusammenhang mit einem AAA deuten auf das Vorliegen eines entzündlichen Aortenaneurysmas hin (19, 20).

Beim Aneurysma falsum (spurium), auch falsches Aneurysma genannt, liegt ein Defekt der Gefäßkontinuität innerhalb aller drei Wandschichten vor (22). Es entsteht ein paravasales Hämatom, welches nach Umbauprozessen von einer Kapsel umhüllt ist (22). Zu den meist iatrogen oder traumatisch bedingten falschen Aneurysmen zählen auch das Nahtaneurysma (Anschlussaneurysma), das mykotische Aneurysma und penetrierende Aortenwandulcerationen (16).

Mykotische Aneurysmen sind primär bakteriell infiziert und treten mit einer Häufigkeit von 4 - 5 % auf (12, 21). Ursächlich sind meist benachbarte Entzündungsherde oder septische Embolien (12). Zu berücksichtigen sind außerdem Endokarditiden und Gefäßwandtraumen (12). Typischerweise liegen mykotische Aneurysmen sackförmig vor (21). Zum Erregerspektrum zählen Staphylokokken, Streptokokken sowie Clostridien (21). Mykotische Aneurysmen können ebenfalls beim Aneurysma verum auftreten, hier sind sie jedoch am ehesten durch Salmonellen und Pneumokokken bedingt (21).

Die dritte Form stellt das Aneurysma dissecans dar und ist durch einen Einriss in die Intima („Entry“) charakterisiert (22). Daraus resultiert ein Bluteinstrom zwischen Intima und Media mit Bildung eines falschen Lumens (23). Isolierte Dissektionen der abdominellen Aorta kommen mit einem Anteil von 2 - 4 % aller Aortendissektionen sehr selten vor, meist stehen sie im Zusammenhang mit einer thorakalen Dissektion (21). Die Stanford-Klassifikation ermöglicht die Unterteilung der Dissektion je nach anatomischer Lage in zwei Typen. Die proximale Typ-A-Dissektion beschreibt den Entry an der Aorta ascendens und erfordert normalerweise eine notfallmäßige chirurgische Behandlung, während die distale Typ-B-Dissektion (Dissektion tritt ab der Aorta descendens auf) nur bei Komplikationen invasiv therapiert wird (22, 23). Die arterielle Hypertonie stellt den Hauptrisikofaktor für eine Dissektion dar (19, 20). Ebenfalls spielt die zystische Medianekrose, die mit dem Marfan-Syndrom assoziiert ist, eine Rolle (19, 20). Mit einer Häufigkeit von 5 % entstehen Aortendissektionen, z.B. nach intravaskulären Katheterisierungen, auch iatrogen (19, 20).

In **Abb. 1** ist die Klassifikation des abdominellen Aortenaneurysmas nach Allenberg dargestellt, welche die Ausdehnung des Aneurysmas in vertikaler Ausrichtung erfasst.



**Abb. 1:** Klassifikation des infrarenalen Bauchaortenaneurysmas nach Allenberg (adaptiert nach: Kortmann (21))

### 1.1.3 Epidemiologie

Die Prävalenz eines Aortenaneurysmas ist bei jungen Menschen vernachlässigbar gering, während sie im Alter deutlich ansteigt (3, 12). Damit einher geht ebenfalls eine höhere Rate an Komorbiditäten, angeführt von kardiovaskulären Begleiterkrankungen (3). Auch die Inzidenz steigt mit zunehmendem Alter. Bei einem Alter über 65 Jahren liegt sie bei 2,7 %, bei über 75 Jahren schon bei 5 - 7 % (12). Frauen erkranken seltener und zudem später an einem AAA als Männer (12). So beträgt die Prävalenz bei Männern über 64 Jahren 4 - 8 %, bei Frauen hingegen nur 0,5 - 1,5 % (16). In der Literatur unterscheiden sich die Angaben der Geschlechterverteilung der Männer gegenüber den Frauen von 6:1, bzw. 9:1, bei den 80 bis 85-jährigen liegt das Verhältnis bei 3:1 (3, 4, 12).

### 1.1.4 Verlauf

Aortenaneurysmen sind meist asymptomatisch (60 - 80 %) und werden oft nur zufällig bei körperlichen Routineuntersuchungen als linksseitiger pulsierender Widerstand im Mittel- bzw. Unterbauch oder als Zufallsbefund bei der Abdomensonographie entdeckt (4, 12). Meist werden Aneurysmen erst im Verlauf mit zunehmender Größe symptomatisch, wenn sie auf benachbarte Organstrukturen stoßen (12). Symptomatische Aneurysmen gehen meist mit Schmerzen einher, die ins Becken, den Rücken oder in die Flanken fortgeleitet werden (4, 12). Nicht selten wird die Symptomatik als Erkrankungen der Nieren, Wirbelsäule oder des Gastrointestinaltraktes fehlgedeutet (4, 12).

Die gefährlichste Komplikation stellt die Ruptur dar, die trotz des medizinischen Fortschritts der letzten Jahre mit einer geringen Überlebenschance einhergeht (4, 21). Die Inzidenz rupturierter Bauchaortenaneurysmen beträgt 5,6 - 17,5 pro 100 000 Menschen pro Jahr und stellt bei über 55-jährigen Männern die zehnthäufigste Todesursache dar (20, 21). In der Literatur wird die Mortalität mit 80 - 90 % angegeben (2, 3, 17).

Man unterscheidet zwischen gedeckter Ruptur, z.B. in den Retroperitonealraum, und freier Ruptur mit rapide einsetzender Schocksymptomatik (12). Die gedeckte Ruptur zeichnet sich durch einen meist

plötzlich eintretenden dauerhaften pulsierenden Schmerz mit Ausstrahlung in die Flanken und den Rücken aus, bei einer freien Ruptur kommt es zusätzlich zu einem raschen Kreislaufverfall (4). Die Rupturgefahr und somit auch die Prognose der Patienten ist am stärksten abhängig von der Aneurysmagröße (21).

Aneurysmadurchmesser	Jährliches Rupturrisiko
30 - 39 mm	0 %
40 - 49 mm	1 %
50 - 59 mm	1 - 11 %
60 - 69 mm	10 - 22 %
> 70 mm	30 - 33 %

**Tab. 1:** Rupturrisiko des AAA (adaptiert nach: Kortmann (21))

Neben dem Größendurchmesser des Aneurysmasacks sind weitere Faktoren für das Rupturrisiko von Bedeutung: Dazu lassen sich ein rasches Sackwachstum, ein schnell wachsender Thrombussaum, steigende Wandspannung und sinkende Wandelastizität zählen (4, 17). Ebenso führen morphologische Besonderheiten wie sakkuläre oder falsiforme Aneurysmen zur Unberechenbarkeit des Aneurysmas (17). Zudem weisen Raucher, Frauen und Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) schon bei geringerem Größendurchmesser, ähnlich wie mykotische und inflammatorische Bauchortenaneurysmen, ein erhöhtes Rupturrisiko auf (17, 24). Die Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin (DGG) empfiehlt in der S3-Leitlinie ein Screening der Bevölkerung mit Ultraschall. Das Screening soll allen Männern ab einem Alter von 65 Jahren und Frauen über 65 Jahren mit aktueller oder zurückliegender Raucheranamnese empfohlen werden (5).

## 1.2 Stellenwert der Bildgebung

Abdominelle Aortenaneurysmen sind meist klinisch symptomfrei, zudem reicht die körperliche Untersuchung nicht aus, um ein elektiv zu versorgendes AAA sicher zu identifizieren (3, 24). Daher spielen bildgebende Verfahren in der Diagnostik, Therapieplanung und Verlaufskontrolle des Aortenaneurysmas eine herausragende Rolle (3).

### 1.2.1 Sonographie

Der konventionelle Ultraschall wird meist als erste Untersuchungsmethode zur Feststellung von Gefäßerkrankungen gewählt (25). Mit einer hohen Sensitivität (95 - 98 % bzw. 98 - 99 %) bildet die Ultraschalldiagnostik die Basis zur initialen Beurteilung von Aneurysmen (3, 6, 20). Die Sonographie kann auch zum Screening eingesetzt werden (3). Für die Planung der Therapie ist diese Technik jedoch weniger geeignet (26). Zwar lässt sich die Größe, Topographie und Beschaffenheit der Gefäßwand bestimmen, allerdings werden Komplikationen (z.B. ein retroperitoneales Hämatom) eher

unterschätzt und die Lagebeziehung zu den angrenzenden Nieren- oder Mesenterialarterien lässt sich nicht immer adäquat beurteilen (26).

Das klassische B-Bild wird üblicherweise unter Verwendung von multifrequenten Schallköpfen mit einer Frequenz von 1 - 9 MHz generiert (6). Das Bild setzt sich aus verschiedenen Grauwerten zusammen, die aus der Reflexivität der unterschiedlichen Gewebe resultieren (27). Für die bessere Darstellung der Gefäße kommt die farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) zum Einsatz, die eine Erweiterung der geläufigen Duplexsonographie darstellt (27). Es werden das Impulsecho- und das Dopplerverfahren im zweidimensionalen B-Bild kombiniert, was sowohl die anatomische Orientierung als auch die Bestimmung von Blutflussgeschwindigkeit und -richtung erlaubt (27). Der Blutstrom wird im B-Bild farbig dargestellt (25). FKDS reicht meist aus, um den Blutfluss innerhalb des AAA darzustellen, ist aber in der Endoleak-Diagnostik bei kleineren Leckagen nur limitiert einsetzbar (28). Gute Verfügbarkeit, fehlende Strahlenbelastung und kostengünstige Anwendbarkeit stellen klare Vorteile dieser Untersuchungsmodalität dar (12, 27). Zudem ist sie schnell und einfach durchzuführen (3). Allerdings ist das Verfahren stark untersucherabhängig und teilweise nur eingeschränkt beurteilbar, z.B. bei Patienten mit Adipositas, Meteorismus und Dyspnoe (12).

### **1.2.2 Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS)**

Beim CEUS werden mit Schwefelhexafluoridgas gefüllte Mikrobläschen, die von einer Phosphorlipidhülle umgeben sind, intravenös eingebracht. Aufgrund ihrer geringen Größe von 2 - 10 µm können sie die Kapillaren passieren, verbleiben jedoch komplett im Gefäßsystem (25, 27). Die im Kontrastmittel (KM) beinhaltenen sogenannten „Microbubbles“ (MB) sind schwer löslich, nicht schädlich, isoton zum Blut und besitzen kein antigenes Potenzial (19). Durch ihre Oberfläche werden die Schallwellen sehr effektiv rückgestreut, was bis zu einer 1000-fachen Verstärkung der empfangenen Schallintensität führt (27). Mit steigendem Schalldruck kommt es jedoch zur Instabilität, Spaltung und schließlich zum Zerplatzen der MB (25). Daher wird in der Bilderzeugung ein möglichst geringer mechanischer Index (MI 0,15 - 0,19) benötigt, um eine gute grauskalierte Bilderzeugung in Echtzeit zu generieren (6, 19).

Die Mikrobläschen werden respiratorisch eliminiert, sodass CEUS auch bei Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion angewendet werden kann (6). Aktuell wird in Europa ein KM der zweiten Generation verwendet (SonoVue<sup>®</sup>, Bracco, Mailand, Italien) das sich aufgrund seines geringen Nebenwirkungsprofils bewährt hat (6, 29). Schwere anaphylaktische oder Hypersensitivitätsreaktionen werden mit einer niedrigen Inzidenz von ca. 1:10 000 in der Literatur angegeben (6).

Um ein optimales Bild zu erzeugen, wird je nach verwendetem Gerät und untersuchter Körperregion eine Bolusgabe von 1 - 5 ml SonoVue<sup>®</sup> empfohlen, gefolgt von einer sofortigen Spülung mit 10 ml Natriumchlorid (NaCl) (0,9 %) (6).

Mithilfe des verwendeten KM verbessert sich der diagnostische Wert der konventionellen Sonographie und einige ihrer Einschränkungen können umgangen werden (19, 20). So lässt sich z.B. die Diagnostik der Gefäße verfeinern, indem Überschreibungsartefakte ausgeblendet oder die Stenosierung einer kalzifizierten Arterie mit einer höheren Sensitivität erfasst werden (25). Außerdem

ist im Falle einer Ruptur dieselbe durch verstärkte Kontrastierung der Gefäßwand sowie durch einen Kontrastmittelaustritt besser darstellbar (20).

Allerdings ist CEUS genauso wie die normale Sonographie abhängig von der Übung des Untersuchers sowie der Compliance und der Konstitution des Patienten (25). Sie erfordert eine gewisse technische Ausstattung, die nicht an jeder Klinik vorhanden ist, und erlaubt keinen größeren räumlichen Einbezug der Gefäße (25).

### **1.2.3 Computertomographie (CT)**

Die Multislice-CT mit KM stellt eine geeignete Methode zur Diagnostik und Therapieplanung bei Aortenerkrankungen dar (30). Es lässt sich der Quer- und Längsdurchmesser eines Aneurysmas erfassen sowie beispielsweise die Wandbeschaffenheit, Kalzifizierung oder Thrombosierung (12). Zudem können benachbarte Gefäße oder Organe beurteilt werden (31). Mithilfe vieler Detektoren, kurzen Rotationszeiten und kleiner Kollimation ist die reproduzierbare Erzeugung eines hochauflösenden Bildes bei einer recht kurzen Untersuchungsdauer möglich (30, 31). Da mithilfe der CTA Veränderungen der Aneurysmamorphanie und des Durchmessers sowie die Integrität des Stentgrafts detektierbar sind, wird sie auch zum Follow-Up nach EVAR eingesetzt (12, 32).

Die CTA ist leicht verfügbar, schnell durchzuführen und einfach zu wiederholen (33).

Jedoch gibt es auch Limitationen. Durch das benötigte KM kann die Durchführung bei Patienten mit schlechter Nierenfunktion problematisch sein (31). Zudem können durch das KM allergische Reaktionen hervorgerufen werden (33). Ebenso geht die wiederholte Strahlenbelastung mit einem erhöhten kanzerogenen Risiko einher (1:2000 Fälle bei einer üblichen Dosis von 10 mSv) (34, 35). Bei Patienten mit Schilddrüsenüberfunktion ist die CT mit KM ebenfalls nur bedingt anwendbar (12).

### **1.2.4 Weitere bildgebende Verfahren**

#### **1.2.4.1 Magnetresonanztomographie (MRT)**

Die MRT der Aorta kann mit und ohne KM stattfinden (30). Bei der kontrastmittelverstärkten Untersuchung wird durch intravenöse Gabe eines gadoliniumhaltigen KM ein dreidimensionaler Datensatz aufgenommen (30). Der Vorteil der KM-verstärkten Variante liegt vor allem in einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung (30). Zudem kommt es selten zu Artefakten, da das Signal nicht vom Blutfluss abhängt (30). Jedoch können durch Stents (ausgenommen Nitinolprothesen), metallische Produkte wie Herzschrittmacher oder durch Kalzifizierungen signifikante Artefakte entstehen und die Bildqualität deutlich eingeschränkt werden (30, 33).

Bei Patienten mit eingeschränkter Funktion der Nieren ist die „Time-of-flight“(TOF)-Angiographie besser geeignet, um das potentielle Risiko einer nephrogenen Fibrose zu minimieren (30). Bei dieser nicht-kontrastmittelgestützten Magnetresonanztomographie (NON-KM-MRA) macht man sich ohne Zugabe eines KM die hohe Signalintensität von fließendem Blut zunutze (30). Durch das sogenannte „Einflussphänomen“ hebt sich der Blutfluss vom benachbarten Gewebe ab, führt jedoch häufig zu Flussartefakten (30). Ein weiterer negativer Aspekt ist zudem die lange Messzeit dieser Untersuchungsmodalität, welche eine gute Compliance der Patienten erfordert (30).

Grundsätzlich ist die Magnetresonanztomographie (MRA) ähnlich wie die CTA für die präoperative Planung von Bauchaortenaneurysmen geeignet. Aufgrund der hohen Kosten, der hohen Zeitintensivität und geringeren Verfügbarkeit wird sie jedoch seltener eingesetzt (26). Zur Überwachung nach EVAR und insbesondere für die Detektion von kleineren Endoleaks ist diese Untersuchungsmodalität geeignet (33).

#### **1.2.4.2 Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)**

Die Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) ist für die Diagnostik von AAA nicht geeignet, da sie nur das perfundierte Aortenlumen und die Gefäßabgänge darstellt, nicht aber die umgebenden Strukturen (12). Jedoch ist durch sie eine präzise Klassifikation von Endoleaks, insbesondere die Unterscheidung von Typ-I- und Typ-III-Endoleckagen, möglich (33). Aus diesem Grund wird sie zur intraoperativen Bilddarstellung verwendet (3). Allerdings ist für die Durchführung teilweise eine Hospitalisierung der Patienten über mindestens einen Tag notwendig, was zu einer Erhöhung der Behandlungskosten führt und als invasives Verfahren eine im Vergleich potentiell erhöhte Komplikationsrate bedingt (33).

### **1.3 Therapie abdomineller Aneurysmen**

Der bedeutendste modifizierbare Risikofaktor hinsichtlich der Aneurysmaentwicklung ist der Nikotinkonsum (5). Daher ist es wichtig, dass Patienten mit AAA auf das Rauchen verzichten (5). In der ARIC-Studie konnte gezeigt werden, dass Raucher, welche das Rauchen aufgaben, ein zu 29 % niedrigeres Lebenszeitrisiko hatten an einem AAA zu erkranken als diejenigen, die das Rauchen nicht aufgaben (5). Dennoch war das Risiko weiterhin höher als das der Patienten, die nicht rauchten (5). Zudem stellt die Minimierung von anderen kardiovaskulären Risikofaktoren eine wichtige Maßnahme dar. Es wird die Behandlung der arteriellen Hypertonie empfohlen, um kardiovaskulären Komplikationen vorzubeugen (5). Außerdem sollen Patienten mit kardiovaskulären Begleiterkrankungen, sofern Kontraindikationen ausgeschlossen sind, Statine erhalten (5). Entgegen früherer Annahmen sollen kleinere Aneurysmen nicht mit Doxycyclin behandelt werden (5, 12). In einer placebokontrollierten randomisierten Doppelblindstudie fanden Meijer et al. heraus, dass Doxycyclin das Aneurysmawachstum nicht reduzierte und im Gegenteil sogar geringfügig erhöhte (5). Zur Prophylaxe von kardiovaskulären Ereignissen wird zudem die Behandlung mit Thrombozytenaggregationshemmern empfohlen (5).

Die Bereitschaft zur invasiven Therapie hängt vom erwarteten Rupturrisiko im Verhältnis zu der eingriffsbezogenen Mortalität und der patientenspezifischen Lebenserwartung ab (4). Zusätzlich zum maximalen Aortendurchmesser ist die jährliche Größenzunahme für die Wahl der Therapie von Bedeutung, wobei bei einer Wachstumsrate von mehr als 5 mm von einem hohen Rupturrisiko auszugehen ist (4).

Die Indikation zur Behandlung ist außerdem abhängig von der vorhandenen Symptomatik. Grundsätzlich können Patienten mit asymptomatischen AAA bei annehmbarem perioperativen Risiko

sowohl offen als auch endovaskulär therapiert werden (5, 13). Für asymptomatische Aneurysmen wird gemäß der S3-Leitlinie der DGG eine regelmäßige Überwachung bei einem Größendurchmesser von 4,0 - 5,4 cm empfohlen (5). Bei einem AAA ab 5,5 cm soll eine Aneurysmaausschaltung erfolgen, bei Frauen sollte schon ab 5 cm interveniert werden (5). Bei einem Durchmesser von 5 - 5,4 cm kann die Therapie des Aneurysmas erwogen werden, bei kleineren Aneurysmen gibt es keine Evidenz für den Vorteil einer sofortigen Behandlung (5). Unabhängig von der Aneurysmagröße ist bei einer Größenzunahme von > 1 cm pro Jahr eine Intervention indiziert. (5) Symptomatische Aneurysmen sollen zum nächstmöglichen Termin elektiv - wenn die technischen Voraussetzungen gegeben sind - endovaskulär versorgt werden, rupturierte Aneurysmen sind als Notfall anzusehen und müssen unverzüglich behandelt werden (4, 5).

Ausschlaggebend für die Wahl des Therapieverfahrens soll die Patientenpräferenz sein, allerdings sollten die Patienten auf Unterschiede im perioperativen Verlauf, Häufigkeit der Reinterventionen, Nachsorge und Sterblichkeit im Verlauf hingewiesen werden (5). Zur Übersicht sind Auswahlkriterien für ein geeignetes Therapieverfahren in **Tab. 2** gegenübergestellt

Kriterium	Offen	Endovaskulär
<b>Alter</b>	< 70 Jahre	> 70 Jahre
<b>Risikogruppe</b>	ASA I - III	ASA III - IV
<b>Lebenserwartung</b>	normal	begrenzt
<b>Abdominale Voroperationen</b>	kleinere	wiederholt große (Hostile Abdomen)
<b>Konstitution</b>	schlank	Adipositas permagna
<b>Sexualleben</b>	inaktiv	aktiv

**Tab. 2:** Kriterien für die Auswahl eines individuell geeigneten Therapieverfahrens (adaptiert nach: Kortmann (16))

Es wurden signifikante Studien veröffentlicht (EVAR I, EVAR II, DREAM, OVER, ACE), die die endovaskuläre und die offene Aortenreparatur verglichen haben (4, 5). Alle belegen die Effektivität des endovaskulären Verfahrens gegenüber der offenen Versorgung bezüglich der geringeren perioperativen Mortalität (1,2 - 1,6 % bei EVAR vs. 4,6 - 4,8 % bei offener Reparatur), ebenso ist der Krankenhausaufenthalt nach EVAR deutlich kürzer (ca. 3 Tage vs. 7 Tage) (4-6). Allerdings ist die Anzahl der Reinterventionen bei EVAR höher (EVAR 9,8 % vs. offene Reparatur 5,8 %), was im Verlauf dazu führt, dass sich die Überlebenskurven nach 60 Monaten wieder angleichen (4-6).

Alternativ ist eine laparoskopische Versorgung möglich, ihr Stellenwert ist jedoch ungeklärt (5). Sie kann bei jüngeren Patienten zum Einsatz kommen, die ein minimalinvasives Verfahren wünschen, lebenslange Kontrolluntersuchungen vermeiden wollen oder aufgrund der Aneurysmamorphologie für den Einsatz eines Stentgrafts nicht geeignet sind (36).

### 1.3.1 Offene Aortenreparatur

Die offene Aortenreparatur kann unabhängig von der Aneurysmamorphologie bei allen abdominalen Aneurysmen zum Einsatz kommen (24). Sowohl elektive und dringliche Eingriffe als auch

Notfalloperationen können mit der konventionellen Methode durchgeführt werden (24). Eine Indikation zur offenen Aortenreparatur stellen Aneurysmen mit aortoenterischen Fisteln dar (15). Abdominelle Aortenaneurysmen mit akzessorischen Nierenarterien oder endovaskulär nicht anschlussfähigen Mesenterialarterien sollten ebenfalls offen versorgt werden (15). Rückert et al. sehen mykotische Aneurysmen als ausschließliche Indikation für eine offene Therapie (15). Kan et al. hingegen sehen bei dieser Aneurysmaform die endovaskuläre Reparatur als alternative Therapiemöglichkeit zur offenen Versorgung (37).

### **1.3.1.1 Vorgehen**

Im Regelfall wird das offene chirurgische Verfahren unter Intubationsnarkose durchgeführt (21). Der Zugang erfolgt transabdominal oder retroperitoneal, abhängig von der Lage des Aneurysmas und persönlichen Präferenzen des Operateurs (13, 15, 38).

Der transabdominale Zugangsweg wird insbesondere zur Freilegung der distalen Bauchaorta und der Aortenbifurkation in Rückenlage des Patienten durchgeführt. Nach Eröffnung des Abdomens wird durch Verlagerung des Darms in den rechten Bauchraum sowie mittels Durchtrennung des Treitz'schen Bandes der Zugang zur infrarenalen Aorta geschaffen (38).

Die Freilegung über einen retroperitonealen Zugangsweg erfolgt in Rechtsseitenlage und einen linksseitigen Flankenschnitt entlang des Musculus rectus abdominis. Danach wird der (Retro-)Peritonealinhalt nach anteromedial verlagert und so insbesondere der Zugang zur gesamten Bauchaorta und der linken Iliakalarterie ermöglicht (38).

Twine et al. sowie Ma et al. haben in Metaanalysen festgehalten, dass ein retroperitonealer Zugangsweg zu einer verkürzten Aufenthaltsdauer auf Intensivstation bzw. im Krankenhaus führe, den intraoperativen Blutverlust reduziere und außerdem mit einer geringeren Ileus- bzw. Pneumonierate einhergehe, weshalb dieser Zugangsweg unter Umständen präferiert wird (38-40).

Wurde das Abdomen operativ eröffnet, wird zunächst die gesamte infrarenale Aorta mit der V. renalis als Leitstruktur freipräpariert (15). Nach erfolgreichem Clamping (Ausklappen) wird das Aneurysma eröffnet und von Thrombusmaterial befreit (13, 15). Daraufhin werden Ligaturen der Lumbalarterien sowie der A. mesenterica inferior vorgenommen, bevor das Aneurysma durch eine Kunststoffprothese in Inlay-Technik ausgeschaltet wird (13, 15).

### **1.3.1.2 Komplikationen**

Die Mortalität beträgt bei elektiv durchgeführten Eingriffen beim infrarenalen Aneurysma bis zu 5 %, beim suprarenalen Aneurysma sogar bis zu 10 % (21). Sie ist stark abhängig vom Patientenalter und beträgt bei Patienten < 70 Jahren 2 - 3 %, bei älteren Patienten 6 - 9 % (21). In 1 - 10 % treten nach Operationen der Bauchaorta systemische Komplikationen auf (21). Angeführt von kardialen Komplikationen (bis zu 50 %) folgen pulmonale Probleme (22 %) und Nierenversagen (17 %) (21). Intraoperativ können benachbarte Organe wie die Ureteren oder größere Venen verletzt werden (12). Weitere Komplikationen bestehen in Blutungen, Thrombembolien und einer Kolonischämie (13, 15).

Potenzstörungen, aortoduodenale Fisteln und Wundinfektionen gehören ebenfalls zum Komplikationsspektrum (13, 15). Ferner kann es im Verlauf zu Spätkomplikationen wie Narbenhernien, einem Aneurysma spurium oder Protheseninfektion kommen (13, 15). Paraplegie und Frühverschlüsse werden kaum beobachtet (21).

### **1.3.1.3 Nachsorge**

Aufgrund des seltenen Auftretens von Spätkomplikationen werden generell keine regelmäßigen Kontrolluntersuchungen nach offener Reparatur gefordert (24). Ein Schema zur Nachsorge besteht in der Sonographie der Aorta 6 und 12 Monate nach dem Eingriff und danach jährlich, in der Leitlinie der DGG werden CT-Kontrollen im Abstand von 5 Jahren vorgeschlagen (5, 16).

## **1.3.2 Endovaskuläre Versorgung (EVAR)**

Bei der endovaskulären Versorgung wird ein Stentgraft in die aneurysmatisch erweiterte Aorta eingebaut, um ein offenes Gefäßlumen zu erhalten, aber die Perfusion des Aneurysmasacks zu unterbinden (31).

EVAR stellt eine gering invasive Therapiemethode dar, die Hochrisikopatienten (COPD, kardiale Insuffizienz, ASA III - IV) eine geeignete Behandlung ermöglicht (13). Auch bei Patienten mit geringem Risiko kann EVAR das primäre Therapieverfahren darstellen, wenn sich von der offenen Versorgung kein Vorteil erhofft wird (3). Sowohl der klinische Befund (Komorbiditäten, anästhesiologisches/chirurgisches Risikoprofil) als auch die anatomischen Gegebenheiten entscheiden, ob konventionell oder endovaskulär therapiert wird (12). Nach der Allenberg-Klassifikation lassen sich 5 Typen der infrarenalen Aortenaneurysmen unterscheiden, von denen jedoch lediglich die Typen I, IIA und IIB für die endovaskuläre Behandlung geeignet sind (17). Ursprünglich konnten die anderen beiden Typen ausschließlich offen operiert werden, da die Fixierungsmöglichkeiten distal (Typ IIC) bzw. proximal (Typ III) nicht gegeben waren (17). Durch die Entwicklung neuer Stenttechniken (fenestrierte/gebranchte Stents) ist mittlerweile jedoch auch die endovaskuläre Behandlung komplexerer Aortenpathologien möglich (41).

Weitere Faktoren, die sich ungünstig auf die endovaskuläre Stentimplantation auswirken, sind in **Tab. 3** dargestellt (16).

Struktur	Eigenschaften
<b>Aneurysmahals</b>	Länge < 15 mm, Weite > 30 mm > 4 mm konisch erweitert Knickwinkel (Kink) > 60° Wandthromben Zirkulär kalzifizierte Wand
<b>Beckenarterien</b>	Erhebliche Abknickung > 90° Starke Verkalkung Langstreckige exzentrische Stenose Aneurysma der kompletten A. iliaca communis
<b>Aortenabgänge</b>	Offene A. mesenterica inferior bei beidseits verschlossener A. iliaca interna Kräftige Lumbalarterien Nierenpolarterie > 2 mm

**Tab. 3:** Unvorteilhafte Voraussetzungen für eine Stentimplantation (adaptiert nach: Kortmann (16))

Ein Vorteil gegenüber der offenen Therapie besteht darin, dass keine Laparotomie erforderlich ist und die Aorta während der Endoprothesenplatzierung nicht ausgeklemmt werden muss, woraus eine geringere kardiopulmonale Belastung resultiert (4, 12). Auch bei rupturierten Aneurysmen ist die endovaskuläre Versorgung möglich (13). Aufgrund periinterventioneller Komplikationen muss bei der endovaskulären Therapie stets die Option zur Akutkonversion vorhanden sein (13). Gründe für den Wechsel zum offenen Verfahren sind beispielsweise, wenn das Aneurysma während des Eingriffs rupturiert, der Stent sich weder öffnen noch perkutan entfernen lässt, beim Einführen Beckenarterien abreißen, der Stent nicht korrigierbar fehlplatziert ist und benachbarte Gefäße verlegt sind oder der aortale Stentgraft komplett verschlossen ist (13). Allerdings sind Akutkonversionen aufgrund der verbesserten Stentgraftmechanik und Patientenselektion sowie zunehmender Expertise rückläufig (13).

### 1.3.2.1 Vorgehen

Meist erfolgen die Eingriffe in Vollnarkose, jedoch ist auch ein Vorgehen in Spinal- oder Lokalanästhesie möglich (13). Nach Heparinisierung werden als Standardzugang großkalibrige Schleusen perkutan mittels „Preclose“-Technik oder nach operativer Freilegung in die A. femoralis communis eingebracht (12). Diese Schleusen ermöglichen die sterile und atraumatische Einführung des endoluminalen Grafts und reduzieren den periinterventionellen Blutverlust (12, 13, 26).

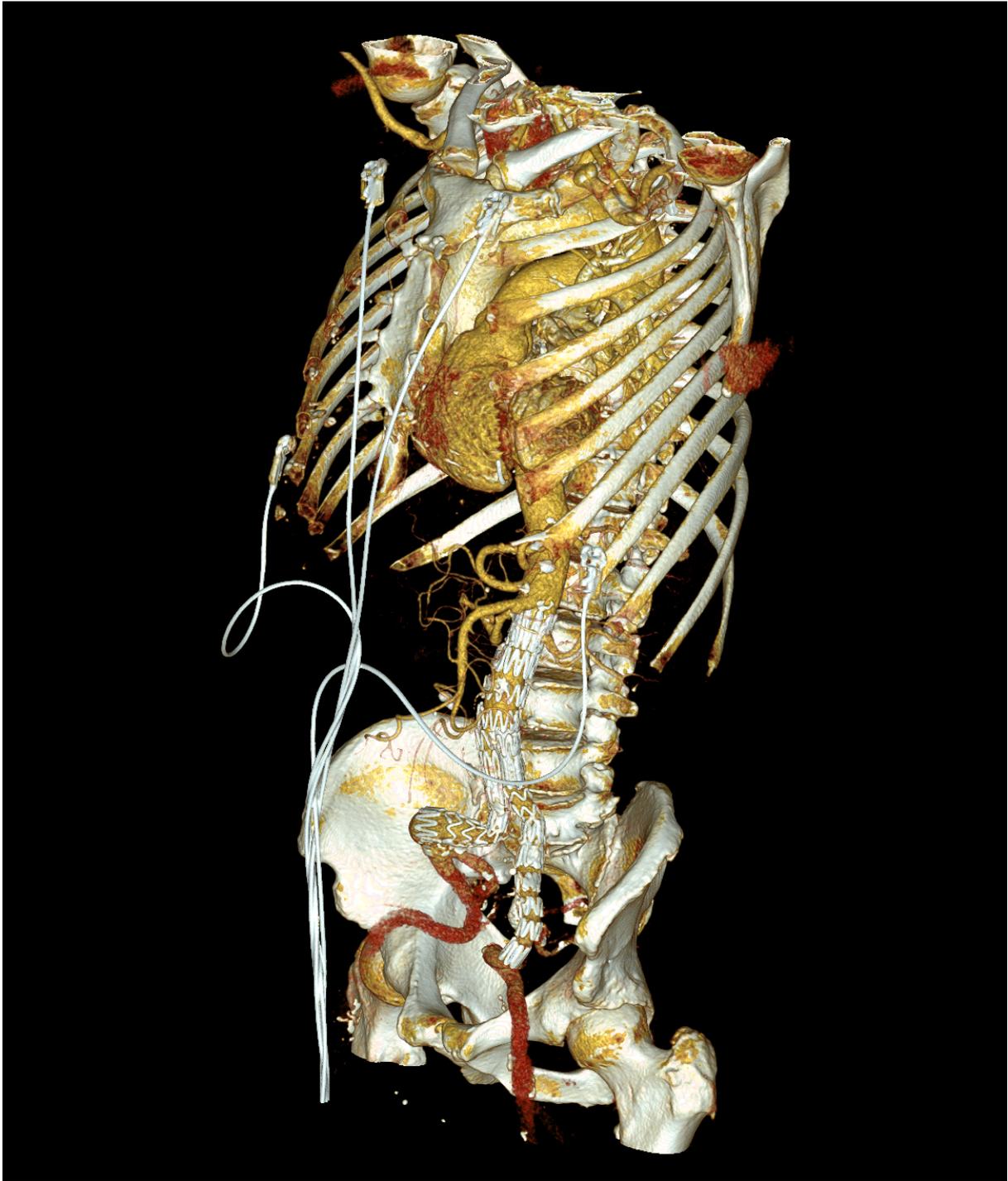
Gemäß Gross-Fengels wird nach erfolgreichem Zugang eine Übersichtsangiographie mit Darstellung der umgebenden Gefäßabgänge angefertigt. Danach wird der Prothesenhauptkörper über vorher im Gefäß platzierte Führungsdrähte eingebracht. Je nach anatomischen Verhältnissen wird das Modell oberhalb oder nach Abgang der Nierenarterien platziert. Der Anschluss der Nierenarterien an die systemische arterielle Blutzirkulation wird bei suprarenaler Fixierung durch sogenannte „bare springs“ ermöglicht, bei denen der gecoverte Stentanteil erst unmittelbar unter den Nierenarterien beginnt. Der

Vorteil der suprarenalen Fixierung besteht in der verringerten Migrationsgefahr, einem selteneren Auftreten von Typ-I-Endoleckagen und der Behandlung abgewinkelter Aneurysmahälse (13).

Grundsätzlich erfolgt die Freisetzung des Stents über ballon- oder selbstexpandierende Systeme (13). Die Prothese wird mithilfe eines Ballonkatheters an die Gefäßwand anmodelliert, andere Systeme verfügen beispielsweise über Häkchen, die die Verankerung der Endoprothese gewähren. Bei Bifurkationsmodellen wird im Anschluss der zweite Schenkel über die kontralaterale Beckenarterie nach retrograder Sondierung eingeführt. Nach Freisetzung und Modulation der gesamten Endoprothese wird abschließend eine angiographische Kontrolle durchgeführt. Verwendet man ein aortomonoiliakales System, so wird zunächst die kontralaterale Beckenstrombahn embolisiert und im Anschluss, ggf. zweizeitig, ein femorofemorale Crossoverbypass angelegt (13, 26).

Inzwischen ist eine Vielfalt von Endograftprothesen vorhanden, die sich im Material und Aufbau unterscheiden. Die Stents bestehen ganz oder teilweise aus Stentgerüsten, die zur Stabilität und zur Reduktion von Längsstauchung oder –schrumpfung beitragen. Zudem beugen sie einer Kompression vor und halten das Gefäßlumen dauerhaft offen (13). In der Regel bestehen die Stents aus Edelstahl, Nitinol oder Speziallegierungen (13, 26, 42). Auf den Stentkörper ist eine Kunststoffhülle aus Materialien wie Dacron oder Polytetrafluorethylen (PTFE) aufgenäht, die den Stent vollständig vor dem Blutstrom abdichtet (13). Für gewöhnlich werden mehrteilige Bifurkationssysteme (Y-Prothesen) verwendet, seltener kommen monoiliakale Systeme, einteilige Rohrprothesen sowie gebranchte oder fenestrierte Stents zum Einsatz, wobei sich die Wahl des Systems nach den individuellen morphologischen Gegebenheiten richtet (12, 13, 26).

Zur Therapie komplexer Aortenpathologien kommen neben den fenestrierten Prothesen, die über Öffnungen an den Seiten verfügen, auch gebranchte Stentprothesen zum Einsatz, welche die vom Aneurysma abgehenden arteriellen Gefäße über Seitenarme versorgen und derzeit zum Perfusionserhalt der Gefäße im thorakoabdominellen Übergang verwendet werden. Im Allgemeinen werden entweder „off-the-shelf“-Prothesen, welche vom Hersteller mit festgelegten Maßen direkt produziert werden, von den „custom-made“-Stentprothesen unterschieden. Letztere werden über einen Zeitraum von mehreren Wochen, bzw. als „physician-modified“-Stents vom Operateur unmittelbar vor dem Eingriff individuell angefertigt (41, 43).



**Abb. 2:** 3D-CT-Rekonstruktion eines AAA nach EVAR

### 1.3.2.2 Komplikationen

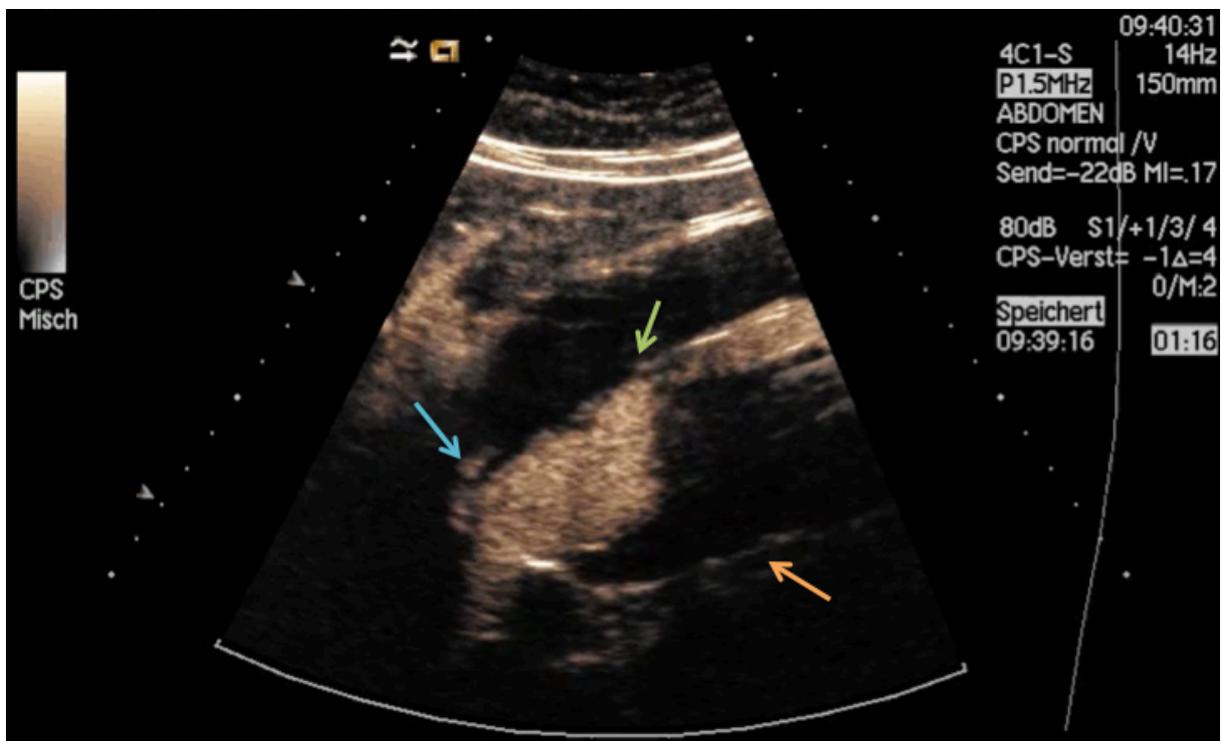
Die Komplikationsrate bei endovaskulär versorgten Bauchaortenaneurysmen beträgt ungefähr 30 %, wobei ein frühzeitiges Auftreten innerhalb von 30 Tagen postinterventionell typisch ist (6).

### 1.3.2.2.1 Endoleaks

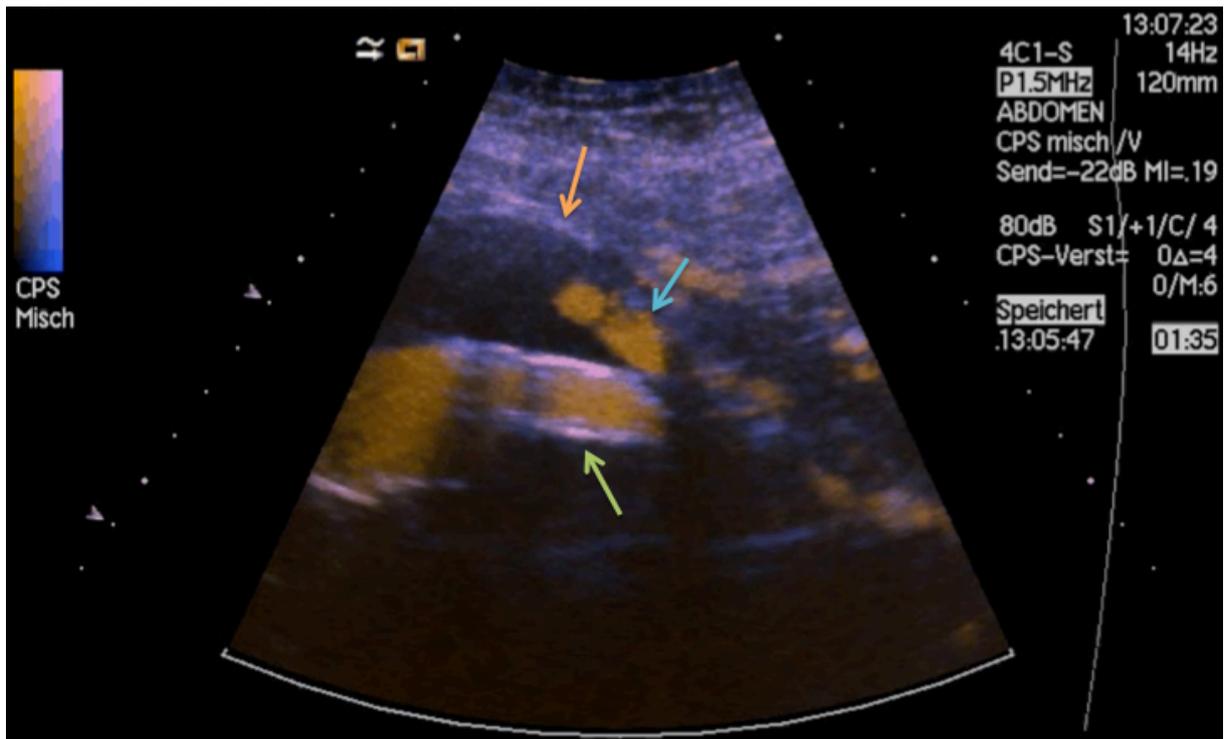
Die Überlebenskurven der invasiven Therapiemöglichkeiten gleichen sich nach anfänglicher Überlegenheit der EVAR mit der Zeit an (6). Ausschlaggebend dafür ist das Auftreten von Endoleaks und die damit verbundenen, oft erneut notwendigen Eingriffe an der Aorta (6). Ihre Häufigkeit wird in der Literatur mit ungefähr 15 - 45 % sehr variabel angeführt (6). Endoleaks bezeichnen eine fortdauernde Blutzirkulation innerhalb des Aneurysmasacks, aber außerhalb des perfundierten Stentgrafts (1, 6-8). Infolgedessen kann es zu einer stetigen Größenzunahme des Aneurysmasacks und einem erhöhten Rupturrisiko kommen (9, 44). Man unterscheidet anhand ihres postoperativen Auftretens primäre (< 30 Tage) von sekundären Endoleaks (> 30 Tage) (45).

Da Endoleaks eine sehr heterogene Gruppe darstellen, ist es durch die Einteilung dieser Leckagen möglich das sekundäre Rupturrisiko abzuschätzen und dementsprechend die Notwendigkeit einer erneuten Therapie oder Kontrolle zu ermitteln (4). Die Typisierung der Endoleaks erfolgt nach White et al. in 5 Klassen (1, 4, 6):

Beim Typ-I-Endoleak führt die unvollständige Abdichtung des Stents proximal (Typ Ia) oder distal (Typ Ib) zu einem arteriellen Bluteinstrom in den Aneurysmasack (6). Häufig treten Leckagen vom Typ I bei Patienten auf, deren Landezonen verkalkt oder thrombosiert sind, bei nicht ausreichender Dilatation des Stentgrafts und bei stark gewinkelten Aneurysmahälsen (45). Auch können sie sekundär im Rahmen von Remodellingprozessen erscheinen (45).

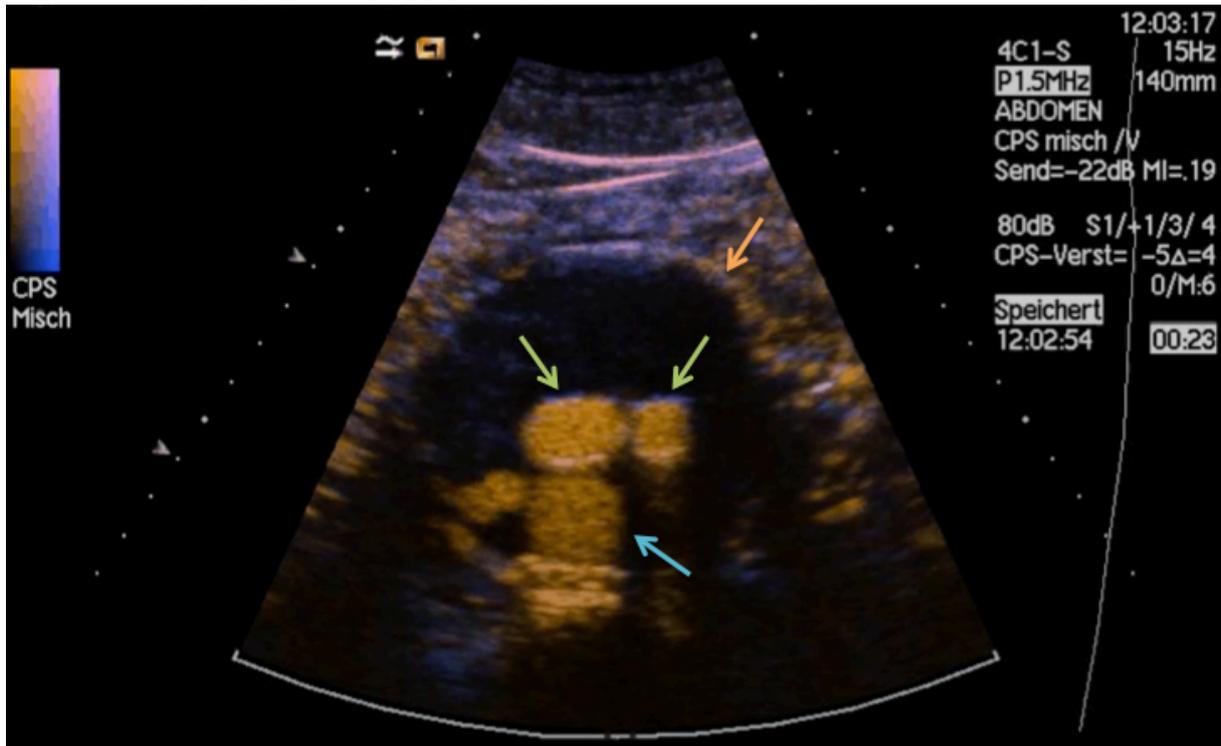


**Abb. 3:** CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in sagittaler Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ Ia (blauer Pfeil).



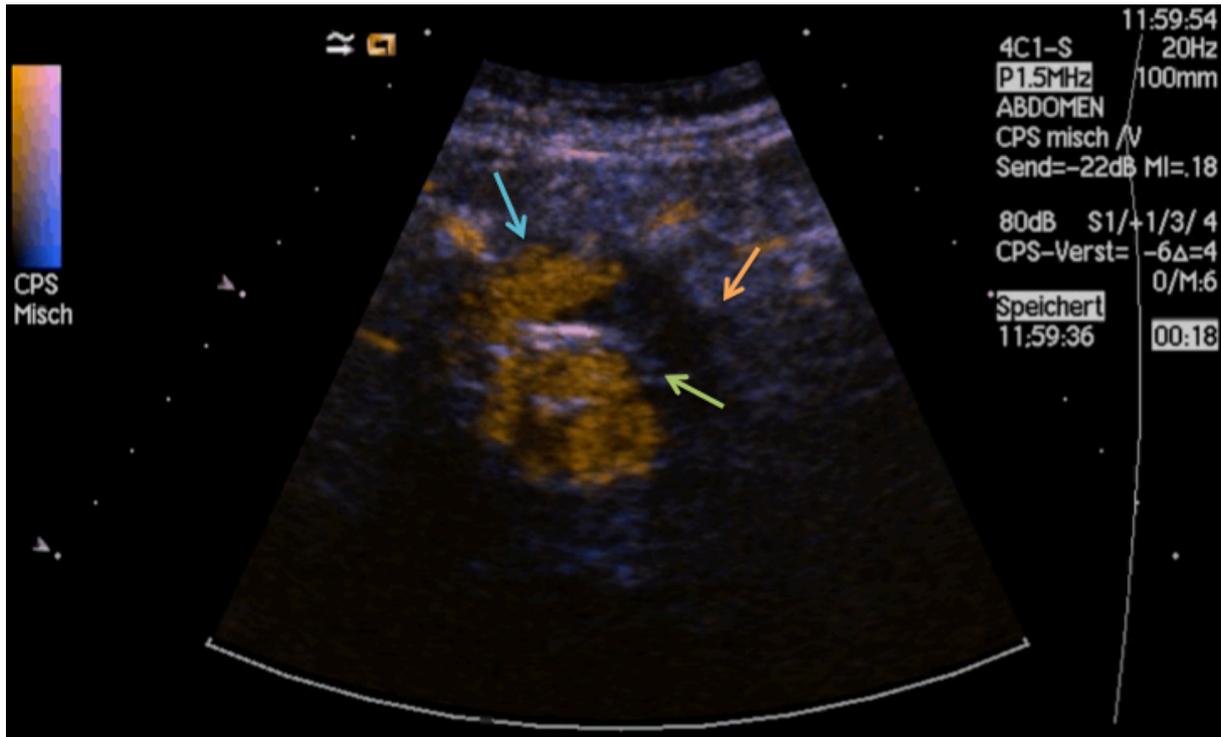
**Abb. 4:** CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in sagittaler Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ Ib (blauer Pfeil).

Typ-II-Endoleaks treten mit 20 % am häufigsten auf (6, 45). Hier kommt es zu einer retrograden Perfusion des Aneurysmasacks über die Lumbalarterien oder die untere Mesenterialarterie (6). Selten wird der Aneurysmasack auch über andere Kollateralgefäße (A. sacralis mediana, akzessorische Arterien der Nieren oder Gonaden) gespeist (45). Je nachdem wie viele Gefäße am Zu- und Abfluss beteiligt sind, wird zwischen einem Endoleak Typ IIa (ein beteiligtes Gefäß) und Typ IIb (mehrere beteiligte Gefäße) unterschieden (6, 46).



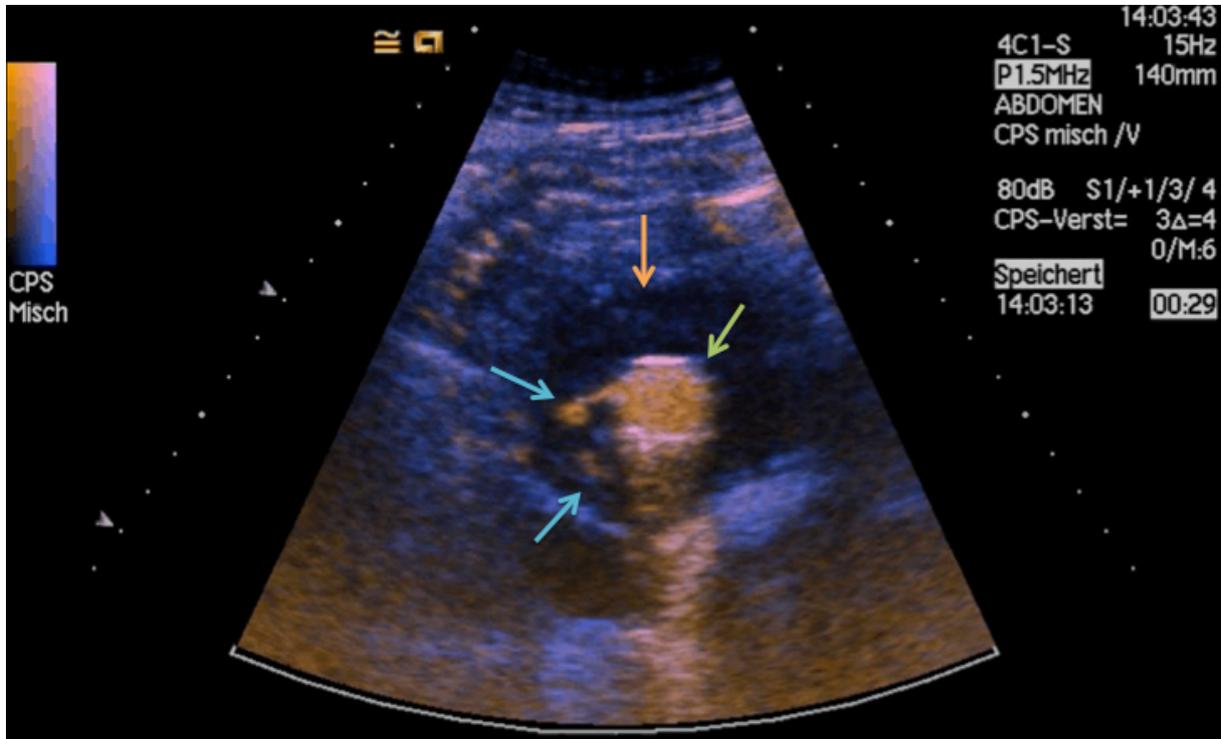
**Abb. 5:** CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), die Iliakalschenkel des Stents (grüne Pfeile) sowie ein Endoleak Typ IIa mit Zufluss über eine Lumbalarterie (blauer Pfeil).

Typ-III-Endoleaks zeichnen sich durch Materialschäden des Stentgrafts aus (6, 46, 47). Ein technischer Defekt des Stents (beispielsweise ein Einriss) oder Dislokation der einzelnen Komponenten innerhalb der Prothese führen zu einer direkten Kommunikation zwischen dem systemischen Blutkreislauf und dem Aneurysma (45). Auch nach gelungener endovaskulärer Stentversorgung kann ein schrumpfendes Aneurysma zu erhöhtem Druck und somit zu einer Schädigung des eingebauten Prothesenmaterials führen (6). Aufgrund der weiterentwickelten Stenttechnologie wird dieses Phänomen jedoch eher bei älteren Modellen beobachtet und kommt derzeit nicht mehr oft vor (6).



**Abb. 6:** CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ III (blauer Pfeil).

Ein Typ-IV-Endoleak ist durch Porosität des Materials bedingt und fällt unmittelbar nach Stentimplantation als diffuser Kontrastmittelaustritt während der Kontrollangiographie auf (6, 48). Meist sistieren diese Endoleckagen von selbst (6). Typ-IV-Endoleaks treten bei modernen Graftprothesen praktisch nicht mehr auf (45).



**Abb. 7:** CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ IV (blauer Pfeil).

Bei einem Typ-V-Endoleak kommt es zu einer Zunahme des Aneurysmadurchmessers ohne den bildmorphologischen Nachweis eines Endoleaks (6, 47).

Der Grund für die Entstehung dieser Endoleaks ist nicht ausreichend geklärt, als Pathomechanismus wird jedoch die durch einen Thrombus bedingte Druckübertragung vom Stent auf die Aortenwand sowie die Ansammlung von Aneurysmainhalt infolge von proteolytischer Degradation diskutiert (45). Ebenso könnte eine Druckübertragung aus winzigen Endoleaks (Mikroleaks), verschlossenen Gefäßkollateralen oder Low-Flow-Endoleaks zur Aneurysmaexpansion führen (45).

In **Tab. 4** sind die verschiedenen Arten der Endoleaks zur Übersicht zusammengefasst:

Endoleaktyp	Ätiologie
<b>I</b>	Undichtigkeit an den Landezonen A: proximal B: distal
<b>II</b>	Füllung über Kollateralen (meist Aa. lumbales oder A. mesenterica inferior) A: ein Zufluss B: mehrere Zuflüsse
<b>III</b>	Materialschäden A: Diskonnektion von Stentteilen B: Defekt im Prothesenmaterial
<b>IV</b>	Porosität des Grafts (oft selbstlimitierend)
<b>V</b>	Endotension (Aneurysmawachstum ohne nachweisbares Endoleak)

**Tab. 4:** Klassifikation der Endoleaks (adaptiert nach: Rübenthaler und Dudeck (3, 6, 45))

Zu 70 % sind frühe Endoleaks selbstlimitierend, dennoch ist eine gründliche Verlaufskontrolle notwendig, um ggf. eine weitere Diagnostik und Therapie einzuleiten (3, 45). Die Leckagen vom Typ I und III sind sogenannte High-Flow-Endoleaks, bei denen über direkte Kommunikation der systemischen Blutzirkulation mit dem Aneurysmasack das Rupturrisiko steigt, was meist einer Intervention bedarf (45, 47, 49). Bei ungefähr 8,7 % der Patienten wird im Durchschnitt nach  $12 \pm 13$  Monaten eine Reintervention nach EVAR, bedingt durch das Auftreten von Endoleaks, erforderlich (6). Beim Typ-I-Endoleak besteht durch den Anschluss des Aneurysmasacks an die arterielle Blutzirkulation weiterhin eine erhöhte Rupturgefahr (3, 6). Dies rechtfertigt je nach Aneurysmadurchmesser und Symptomatik die Indikation zur unverzüglichen Behandlung durch Verlängerung des Stentgrafts mittels proximalem Cuff, Anmodellierung des Stentmaterials durch Ballonangioplastie, Stentextension oder in bestimmten Fällen eine Embolisation der Ausstromgefäße und des Aneurysmasacks (3, 6, 45).

Nahezu 80 % der Typ-II-Endoleaks sind nach einem halben Jahr nicht mehr nachzuweisen (45). Mit 0,5 % im Gegensatz zu 3,4 % bei Endoleaks vom Typ I und Typ III wird das wachstumsbezogene Risiko mit Ruptur beim Typ-II-Endoleak sehr gering eingeschätzt (45). Daher ist primär ein konservatives Vorgehen mit regelmäßigen Kontrolluntersuchungen gerechtfertigt, bei Größenzunahmen des Aneurysmasacks oder Persistenz des Endoleaks (> 6 Monate) ist bei großen Aneurysmen (> 55 mm) eine Intervention zu empfehlen (45, 47, 50).

Eine Therapieoption besteht in der Unterbindung der Kommunikation der beteiligten Gefäße mittels Embolisation (3, 45, 47). Der Zugangsweg wird über Kollateralarterien, z.B. über die Riolan-

Anastomose, oder durch translumbale Punktion gewählt, wobei die zuletzt genannte Methode neueren Untersuchungen zufolge bessere Ergebnisse erzielt (3, 45).

Aufgrund der Rupturgefahr wird beim Typ-III-Endoleak eine unmittelbare Revision nötig. Üblicherweise wird der Stentgraft erneuert oder es werden Stentverlängerungen platziert (3, 6, 45). Kommt es hierbei nicht zur Ausschaltung des Endoleaks, greift man als ultima ratio auf die Konversion zur OP zurück (45).

Eine Intervention ist bei Typ-IV-Endoleaks meist nicht notwendig, da diese von alleine sistieren (45, 47).

Endoleaks vom Typ V haben selten schwere Folgen, da selbst eine Ruptur kaum zu schweren Blutungen führt (45). Als Therapieoptionen stehen jedoch die chirurgische Revision sowie die endovaskuläre Stentgrafterneuerung (sog. Relining) zur Verfügung. Da die Konversion mit einer hohen Mortalität einhergeht, ist dem Relining als Therapieverfahren Vorrang zu gewähren (45, 47).

#### **1.3.2.2 Weitere Komplikationen**

Als weitere spezifische Komplikationen bei endovaskulärer Versorgung sind mechanische Änderungen am Stent wie die Stentmigration, Endoprothesenbrüche oder Prothesenverschlüsse zu nennen (3, 4, 17).

Besonders bei älteren Modellen stellt die Migration eine häufige Komplikation dar (3). Ungenügende Verankerung der Prothese oder der Verlauf des Aneurysmas können zu einer Stentmigration führen (3). Eine Größenzunahme des Aneurysmas oder Nachweis eines Endoleaks in Kombination mit einer Stentmigration von  $> 1$  cm kann aufgrund möglicher rascher Verläufe mit Ruptur problematisch werden (3, 5). Die technische Entwicklung der Stents mit Krallen, Haken und suprarenaler Fixierung hat jedoch zu einer Abnahme der Prothesenmigrationen geführt (3). In 5 % der Fälle kommt es bei neueren Stentgraftsystemen zu einer Extremitätenischämie bei Prothesenschenkelverschluss (3). Ursächlich ist häufig eine Knickbildung, die besonders bei jungen Patienten mit geschlungenen Beckenarterien und langen Prothesenschenkeln auftritt (3). Ischämische Veränderungen können ebenfalls durch verschlepptes Thrombusmaterial, falsche Positionierung des Stentgrafts oder Abschneiden wichtiger Kollateralen auftreten (13).

Zudem kommt es in ca. 4,8 % der Fälle im Bereich der Zugangsarterien zu iatrogenen Verletzungen (17). Unter anderem können Wundinfektionen, Dissektionen, Gefäßperforationen, AV-Fisteln, Thrombosen, Hämatome oder Lymphozelen auftreten (13). Sehr selten kommt es zu einer Infektion des Stentgrafts (13).

Eine der häufigsten Komplikationen nach EVAR ist die akute postoperative Niereninsuffizienz (3). Selten führt eine Überstentung der Nierenarterien oder intraoperative Embolisation zu einer Nierenparenchymnekrose (3). Das Risiko für eine kontrastmittelbedingte Schädigung des Nierenparenchyms ist abhängig von der präoperativen Nierenfunktion, der Dosis des verwendeten Kontrastmittels und den patientenspezifischen Risikofaktoren (3). Ebenfalls kommen Muskelabbauprodukte, die sich bei längeren Ischämiezeiten der unteren Extremitäten bilden, als Ursache für eine Nierenschädigung infrage (3).

### **1.3.2.3 Nachsorge**

Aufgrund der hohen Reinterventionsrate nach EVAR sind lebenslange, vergleichsweise enge, bildgebende Kontrolluntersuchungen notwendig (13, 16). Bisher werden als Untersuchungsmethoden vorwiegend die CT-Angiographie sowie die FKDS empfohlen, jedoch gibt es derzeit keine einheitlichen Leitlinien für das Follow-Up nach EVAR (51). Die European Society for Vascular Surgery (ESVS) empfiehlt in ihren Leitlinien eine frühe Kontrolle 30 Tage nach EVAR durch CTA, klinische Beurteilung der Patienten, ggf. Duplexsonographie und eine Abdomenleeraufnahme (10). Werden Endoleaks oder eine unvollständige Abdichtung des Stentmaterials entdeckt, so soll die Indikation zur Reintervention mittels CT überprüft (Typ-I/III-Endoleaks) oder mittels Duplexsonographie (Typ-II-Endoleaks) die Größe des Aneurysmasacks regelmäßig kontrolliert werden (10). Patienten, die keine Auffälligkeiten in der frühen postoperativen Kontrolle zeigen, sollen mindestens alle 5 Jahre CT-Aufnahmen erhalten (10). Andere Quellen schlagen eine Kontroll-CT der Bauchorta sowie der Beckenarterien 3, 6, 12, 18 und 24 Monate nach der Operation vor, danach sollen jährliche Kontrollen stattfinden (16). Die Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin (DGG) rät zur standardisierten Kontrolle durch Ultraschall und CEUS (49).

## 2 Ziel der Dissertation

Da Patienten mit einem endovaskulär versorgten Bauchaortenaneurysma der lebenslangen bildgebenden Überwachung obliegen, ist es ratsam die Kontrolluntersuchungen hinsichtlich der Patientenverträglichkeit und Genauigkeit zu optimieren (1, 6-8). Vor dem in der Einleitung beschriebenen Problemhintergrund, dass bislang keine einheitliche Leitlinie bezüglich der Kontrolluntersuchungen nach EVAR existiert und die CTA mit ihren Limitierungen allgemein als Goldstandard akzeptiert ist, hat die vorliegende Arbeit das Ziel den Nutzen von CEUS bei der Detektion von Endoleaks in der Verlaufsbeurteilung nach EVAR zu ermitteln. Anhand der dokumentierten Untersuchungen soll gezeigt werden, welche Möglichkeiten und Grenzen diese Untersuchungsmodalität bei der Verlaufs- und Langzeitbeurteilung bei Patienten mit EVAR aufweist.

Im Verlauf sollen folgende Fragestellungen überprüft werden:

- Wie oft sind bei den im Klinikum Großhadern nachkontrollierten Patienten Endoleaks aufgetreten? Lassen sich diese anhand der CEUS-Befunde eindeutig klassifizieren?
- Sind die Untersuchungsergebnisse des kontrastmittelverstärkten Ultraschalls im Bezug auf die Detektion von Endoleaks denen der CT-Untersuchung überlegen oder zumindest mit ihnen vergleichbar?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Art des Endoleaks und der Aneurysmagröße?
- Unterscheiden sich die unterschiedlichen Arten von Endoleaks in ihrem Progress?
- Wie verhalten sich die Durchmesser der Aneurysmen im Verlauf?

## 3 Material und Methodik

### 3.1 Patientenkollektiv

#### 3.1.1 Auswahl der Patienten

Retrospektiv wurden sämtliche Patienten mit infrarenalem Bauchaortenaneurysma in die Untersuchung eingeschlossen, die nach endovaskulärer Stentversorgung Kontrolluntersuchungen mit CEUS im Zeitraum von Januar 2005 bis Oktober 2017 in der Klinik und Poliklinik für Radiologie am Universitätsklinikum Großhadern erhielten.

#### Einschlusskriterien

- Infrarenales Bauchaortenaneurysma nach EVAR
- Rohrprothese
- Bifurkationsprothese
- Monoiliakale Prothese
- Kontrolluntersuchung mit CEUS

#### Ausschlusskriterien

- Infrarenales Bauchaortenaneurysma nach offener Reparatur
- Thorakales bzw. thorakoabdominales Aneurysma nach EVAR
- Juxtarenales AAA nach EVAR
- Suprarenales Aneurysma
- Aneurysma des Aortenbogens
- Aneurysma der Iliakalarterien
- Kontrolluntersuchung nur durch CTA
- Native CT-Untersuchungen

**Tab. 5:** Ein- und Ausschlusskriterien der Patienten

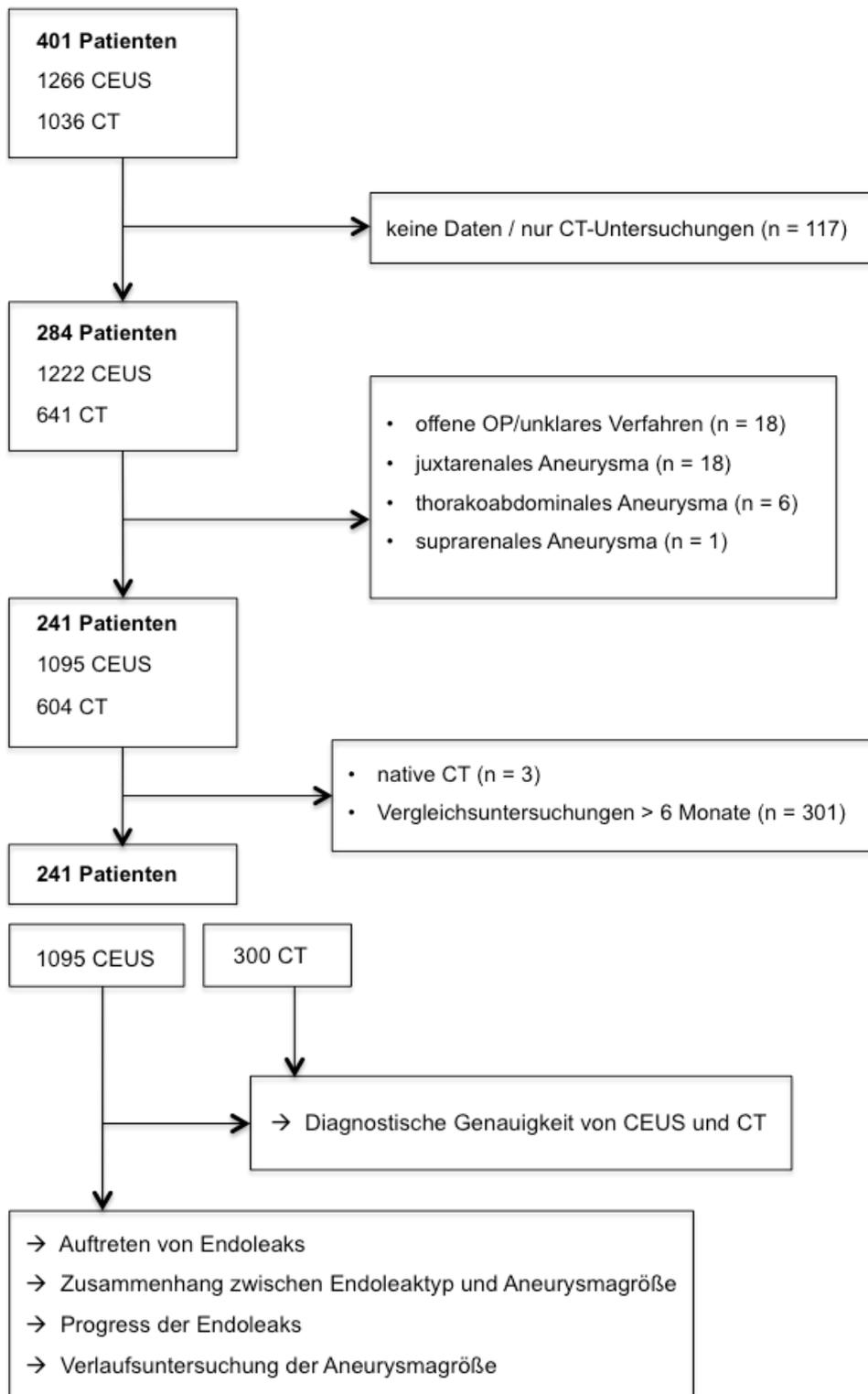
#### 3.1.2 Gruppenmerkmale

Ursprünglich wurden die Daten von 401 Patienten vermerkt, welche insgesamt 1266 Untersuchungen mit CEUS und 1036 CT-Untersuchungen erhielten. Nach Beachtung der oben genannten Ausschlusskriterien verringerte sich die Zahl der aufgenommenen Patienten und der durchgeführten Kontrolluntersuchungen.

Die selektierte Patientenkohorte umfasste schließlich 241 Patienten. Darunter befanden sich 224 Männer und 17 Frauen. Der Altersdurchschnitt lag bei 72,44 Jahren, der Median bei 73,0 Jahren.

Es konnten 1095 CEUS-Untersuchungen ermittelt werden, von denen wiederum 300 mit zeitnah angefertigten CT-Untersuchungen verglichen werden konnten.

## Computeralgorithmus: Patienten mit versorgtem Aortenaneurysma am Klinikum Großhadern



**Abb. 8:** Flowchart der Studie

## **3.2 Datenerhebung**

### **3.2.1 Vorgehensweise bei der Datenerhebung**

Vor der Datenerhebung wurde ein zustimmendes Votum durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität eingeholt.

Die Patientenselektion wurde mithilfe eines intern angefertigten Algorithmus über das LAMP-System des Universitätsklinikums Großhadern durchgeführt, in welchem Informationen über stattgefundene Untersuchungen inklusive Befunden und Bildmaterial gespeichert sind. Zudem wurden Informationen aus den Bildern des PACS-Systems der radiologischen Abteilung entnommen. Es wurden alle Patienten mit endovaskulär versorgtem infrarenalen Aortenaneurysma ermittelt, die im Zeitraum von Januar 2005 bis Oktober 2017 mindestens eine Kontrolluntersuchung am Klinikum Großhadern mittels CEUS bekamen. Die Daten wurden nach der Erhebung für die Auswertung irreversibel anonymisiert.

### **3.2.2 Auswertung von CEUS und CT**

Die Diagnostik mittels CEUS wurde durch einen Stufe-III-Kursleiter der DEGUM (Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin) durchgeführt und befundet, während die Auswertung der CT-Untersuchungen entweder direkt durch den gleichen Befunder durchgeführt bzw. der initiale Befund nachkontrolliert wurde.

### **3.2.3 Untersuchungszeitraum**

Die Datenerhebung fand im Zeitraum von September bis Dezember 2017 statt. Es wurden alle CEUS-Untersuchungen, die am Klinikum Großhadern von Januar 2005 bis einschließlich Oktober 2017 durchgeführt wurden, aufgenommen. Zunächst wurden auch alle CT-Untersuchungen von Juli 2003 bis September 2017 dokumentiert.

### **3.2.4 Vergleichswerte**

Es wurden CEUS- und CT-Untersuchungen auf das Vorliegen von Endoleaks geprüft und jene Untersuchungen verglichen, welche zeitnah zueinander angefertigt wurden. Entweder wurden die Untersuchungen am gleichen Tag durchgeführt oder es wurden diejenigen Untersuchungen gegenübergestellt, welche nicht mehr als 6 Monate auseinander lagen. Waren mehrere zeitlich zusammenhängende Untersuchungen vorhanden, so bildete man ein Paar aus den Untersuchungen, die einen geringeren zeitlichen Abstand zueinander aufwiesen. Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, wurden weder die Untersuchungsmodalität noch die Abstände der Kontrolluntersuchungen im Voraus festgelegt. Aufgrund dessen war ein zeitnaher Vergleich von CEUS- und CT-Untersuchungen stellenweise nicht möglich, wodurch in der Datensammlung deutlich mehr Gesamtuntersuchungen als CEUS/CT-Paare zusammengetragen wurden.

Der Durchmesser der Aneurysmen wurde bei beiden Untersuchungsmethoden vermerkt, um im Folgenden Aussagen über die Größenverhältnisse im Verlauf treffen zu können, wobei sich die

Größenänderung jeweils auf den Ausgangswert bezog. Außerdem diente der Aneurysmadurchmesser der Klärung der Frage, ob ein Zusammenhang zwischen Aneurysmagröße und der Art der Endoleckage besteht. Es wurden hierbei nur die durch CEUS aufgezeichneten Untersuchungsergebnisse berücksichtigt.

### **3.2.5 Datenauswertung und Statistik**

Zur Analyse wurden die retrospektiv erhobenen Daten zunächst explorativ analysiert. Neben epidemiologischen Daten der Patienten wurden klinische Parameter wie der eingebaute Prothesentyp, Zeitpunkt der bildgebenden Kontrollen sowie Untersuchungsmethode, Durchmesser des Aneurysmasacks und - falls aufgetreten - die Klassifizierung der beobachteten Endoleckage mit den den Aneurysmasack speisenden arteriellen Gefäßen erfasst.

Aus den OP-Berichten sowie den CEUS- und CT-Befunden konnten zudem weitere Informationen über nachfolgende Interventionen, wie die Verabreichung von Fibrinkleber, Thrombininjektionen oder erneute endovaskuläre Eingriffe an der Aorta, entnommen werden. In der folgenden Auswertung dienten diese Daten als mögliche Erklärung für Veränderungen hinsichtlich einer neu aufgetretenen oder verschwundenen Endoleckage in den Kontrolluntersuchungen.

Die statistische Auswertung erfolgte in SPSS, womit sowohl deskriptive als auch komparative statistische Tests durchgeführt wurden. Die die Ergebnisse unterstützenden Grafiken wurden in MS-Excel erstellt.

Im deskriptiven Teil der Datenanalyse wurden Häufigkeiten und Prozente errechnet. Des Weiteren wurden zum Vergleich zweier Variablen Kreuztabellen angelegt. Zudem wurden Minimal- und Maximalwerte sowie Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen erhoben. Um die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Signifikanz zu testen wurden verschiedene Tests, wie beispielsweise der Mann-Whitney-U oder der Chi-Quadrat-Test, angewandt.

Zur Bestimmung der Sensitivität und Spezifität wurden CEUS/CT-Vergleichspaare herangezogen, welche weniger als 6 Monate auseinanderlagen. Als Goldstandard wurde die Untersuchung mittels CT bestimmt. Als richtig positiv wurden jene CEUS-Befunde gewertet, die bezüglich des Vorliegens eines Endoleaks mit den Ergebnissen der CT-Untersuchung übereinstimmten. Konnte ein Endoleak jedoch nicht im CT bestätigt werden, so wurde der Befund als falsch positiv angesehen. Lag in der CT-Befundung ein positiver Befund, in der CEUS-Befundung jedoch ein negativer Wert vor, so wurde dies als falsch negativ notiert. Waren die Ergebnisse beider Untersuchungen negativ, wurde dies im Vergleich als richtig negativ gewertet.

Unter der Annahme, dass es keinen Goldstandard gibt, wurde zusätzlich der Kappa-Koeffizient nach Cohen berechnet, um zu überprüfen, ob CEUS und CT die gleichen Ergebnisse bezüglich der Detektion von Endoleaks liefern. Es wurde ebenfalls der McNemar-Test angewendet.

Für alle Untersuchungen wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  festgelegt.

Um zu prüfen, inwiefern ein Zusammenhang zwischen Endoleaktyp und Aneurysmagröße besteht, wurde zunächst mittels des Shapiro-Wilk- und des Kolmogorov-Smirnov-Tests die Normalverteilung der Daten überprüft. Da die Daten nicht normalverteilt waren ( $p < 0,001$ ), wurde anschließend der Kruskal-Wallis-Test angewendet, da mehr als zwei Stichproben vorlagen.

Dieser Test wurde ebenfalls zur Feststellung, ob sich ein bestimmter Endoleaktyp im Progress von den anderen unterscheidet, verwendet. Für diese Fragestellung wurde ebenfalls eine neu berechnete Wachstumsgeschwindigkeit hinzugezogen.

### **3.3 Durchführung von CEUS**

In der Klinik und Poliklinik für Radiologie des Universitätsklinikums Großhadern erfolgte vor der Durchführung von CEUS zunächst sowohl die mündliche als auch schriftliche Aufklärung über die Untersuchung. Anschließend erhielten die Patienten für die Kontrastmittelgabe einen peripheren venösen Zugang mit Dreiwegehahn.

Die Darstellung der Aorta abdominalis erfolgte nach einem standardisierten internen Untersuchungsprotokoll, wobei die Untersuchungen immer von einem spezialisierten Radiologen der DEGUM Stufe III durchgeführt wurden.

Zu Beginn der Untersuchung wurde die gesamte Bauchaorta mit den abgehenden Nierenarterien bis zur Iliakalbifurkation im B-Bild dargestellt. Anschließend wurde eine Farbduplexuntersuchung durchgeführt und der implantierte Stentgraft lokalisiert. Danach erhielt der Patient intravenös das KM (SonoVue®) mit nachfolgender Spülung von NaCl (0,9 %). Es wurde zunächst der Abschnitt der Bauchaorta mit der proximalen Verankerungszone aufgesucht und im Längs- und Querschnitt dargestellt, wobei ebenso die Abgänge der Nierenarterien beurteilt werden konnten. Im Longitudinalschnitt war die Beurteilung des Verlaufs der Aorta bis in die Iliakalarterien möglich. Abschließend wurde nochmal orientierend die Aorta mit dem ausgeschalteten Aneurysma dargestellt, das nach erfolgreicher Intervention kein KM aufnehmen sollte. Der Nachweis von KM außerhalb des Stentgrafts, aber innerhalb des Aneurysmas, kennzeichnete das Vorliegen eines Endoleaks. Ein Typ-Ia-Endoleak ließ sich durch die proximale Darstellung des Stentgrafts, ein Typ-Ib-Endoleak durch die distale Darstellung des Stentgrafts detektieren. Typ-III-Endoleaks ließen sich durch die Abbildung der Aorta im Bereich der aortoabdominellen bzw. iliakalen Verankerungszone ausschließen. Typ-II-Endoleaks ließen sich durch Kontrastmittelanflutung über einen (Typ IIa) oder mehrere (Typ IIb) Seitenäste ebenfalls darstellen (52). Insgesamt dauerte die Durchführung von CEUS etwa 5 - 10 Minuten. War die Typisierung eines Endoleaks unklar, so konnte eine zweite Kontrastmittelinjektion verabreicht werden.

#### **3.3.1 Kontrastmittel**

Zur kontrastmittelverstärkten Bilderzeugung wurde SonoVue® verwendet. Das für die Untersuchung durch Ultraschall geeignete KM der zweiten Generation enthält pro ml 8 µl Schwefelhexafluoridbläschen. Gemäß der Fachinformation wurde im Klinikum Großhadern eine Dispersionslösung aus einem Pulver (Macrogol 4000, Colfoscerilstearat und 1-(1,2-Dipalmitoyl-3-sn-phosphatidyl)glycerol-Natriumsalz Palmitinsäure) und einer NaCl-Lösung (0,9 %) zubereitet. Unmittelbar im Anschluss wurden meist 1 ml dieser Lösung als Bolus verabreicht, gefolgt von einer Gabe von 10 ml NaCl (0,9 %). Etwa 1 bis maximal 8 Minuten nach Bolusgabe war eine Darstellung

der GefäÙe möglich.

Nebenwirkungen bei der Gabe des KM treten mit einer in der Literatur beschriebenen Häufigkeit von 1 zu 10 000 sehr selten auf (6). GemäÙ der Fachinformation können am ehesten u.a. Kopfschmerzen, Übelkeit und Reaktionen an der Injektionsstelle auftreten. Kontraindikationen für die Gabe von SonoVue<sup>®</sup> sind in **Tab. 6** aufgelistet:

#### Kontraindikationen

- Unverträglichkeit von einem der beinhaltenen Wirkstoffe
- Rechts-Links-Shunt
- Pulmonalarterielle Hypertonie (> 90 mmHg)
- Unkontrollierte arterielle Hypertonie
- Patienten mit akutem Atemnotsyndrom
- Gabe mit Dobutamin bei kardiovaskulärer Instabilität

**Tab. 6:** Gegenanzeigen für die intravenöse Verabreichung von SonoVue<sup>®</sup> (Fachinformation)

### 3.3.2 Geräte

Bei den Ultraschalluntersuchungen wurden die Siemens Geräte Sequoia, S2000 oder S3000 (Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland), die Philips Geräte HDI 5000, iU22, EPIQ oder Affiniti (Philips, Andover, MA, USA) sowie das GE Healthcare Gerät LOGIQ E9 der Firma GE Healthcare, Waukesha, WI, USA verwendet. Für die Untersuchung wurde ein niederfrequenter Schallkopf mit einem niedrigen MI (< 0,4) gewählt, um die Zerstörung der MB zu verhindern.

## 3.4 Durchführung der CT

Zunächst wurde nach Ausschluss einer KM-Allergie und durch Kontrolle von Schilddrüsen- (TSH > 0,27µl/ml) und Nierenwerten (GFR ≥ 30 ml/Min) im Serum die Eignung der Patienten für die Gabe des jodhaltigen KM geklärt. Nach der Aufklärung erhielten die Patienten einen großlumigen peripheren Venenkatheter, über den die Gabe des KM stattfinden sollte. Als KM kam Imeron<sup>®</sup> 400 der Firma Bracco Imaging, Italien zur Anwendung, welches mithilfe einer Kontrastmittelpumpe appliziert wurde. Die Untersuchung der abdominalen Aorta wurde bei den Patienten in Rückenlage durchgeführt. Die Aorta wurde bis zu der Aufzweigung der Beckenstrombahn komplett dargestellt. Es lag kein standardisiertes Untersuchungsprotokoll vor, allerdings erfolgten meist zunächst die native Darstellung und im Anschluss daran eine arterielle und eine venöse Phase, welche zeitgesteuert nach Kontrastmittelgabe aufgenommen wurden.

### **3.4.1 Geräte**

Bei den eingesetzten Geräten kamen das SOMATOM Definition AS 64, SOMATOM FLASH oder SOMATOM Force der Firma Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland zum Einsatz.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Endoleaks

Zu Beginn der Studie ergab sich eine Patientenkohorte von 401 Personen, welche insgesamt 1266 Untersuchungen mit CEUS und 1036 CT-Untersuchungen erhielten. Durch Beachtung der oben genannten Ausschlusskriterien ergab sich ein selektiertes Kollektiv von 241 Patienten. 222 dieser Patienten wurden mit Bifurkationsprothese, 10 mit Rohrprothese und 9 mit einem monoiliakalen Stent versorgt. Bei 11 Patienten wurden im Verlauf insgesamt 18 neue Stents eingebaut. Es wurden 1095 Untersuchungen mittels CEUS durchgeführt, wobei 300 im zeitlichen Zusammenhang ( $\pm 6$  Monate) mit einer Kontrolluntersuchung durch CTA stattfanden. Die mittlere Follow-Up-Zeit für die CEUS-Untersuchungen betrug 29,8 Monate  $\pm 32,5$  Monate.

#### 4.1.1 Charakterisierung der Patienten

Unter den 241 Patienten befanden sich 224 Männer (92,9 %) und 17 Frauen (7,1 %). Zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung mit CEUS waren die Patienten zwischen 52 und 95 Jahre alt, woraus sich ein Altersdurchschnitt von 72,44 Jahren ergibt. Der Median lag bei 73,00 Jahren. Gemäß der in der Literatur angegebenen Epidemiologie konnten in die Studie insgesamt eher ältere, insbesondere männliche Patienten eingeschlossen werden. Im Hinblick auf geschlechtsspezifische Unterschiede konnte ein geringgradig jüngeres Durchschnittsalter bei den Männern im Vergleich zu den Frauen (72,35 vs. 73,65 Jahre) entsprechend dem Auftreten der Erkrankung in der Gesamtbevölkerung beobachtet werden (12). Allerdings ergab die Überprüfung durch den Man-Whitney-U-Test keinen statistisch signifikanten Altersunterschied ( $p = 0,82$ ).

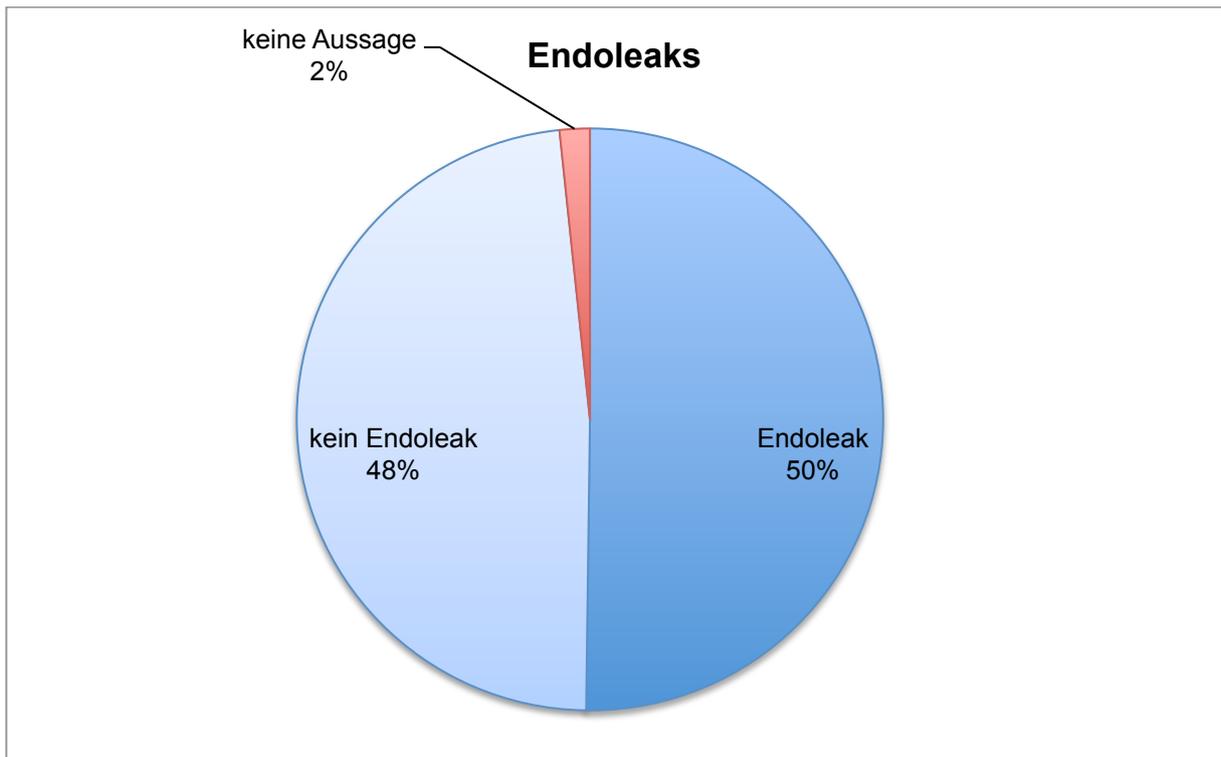
	Gesamt	Männer	Frauen
Anzahl	241	224	17
Durchschnittsalter	72,44 $\pm$ 8,01	72,35 $\pm$ 7,9	73,65 $\pm$ 9,6
Altersmedian	73	73	73
maximales Alter	95	94	95
minimales Alter	52	52	59

Tab. 7: Verteilung von Geschlecht und Alter in der Patientenkohorte

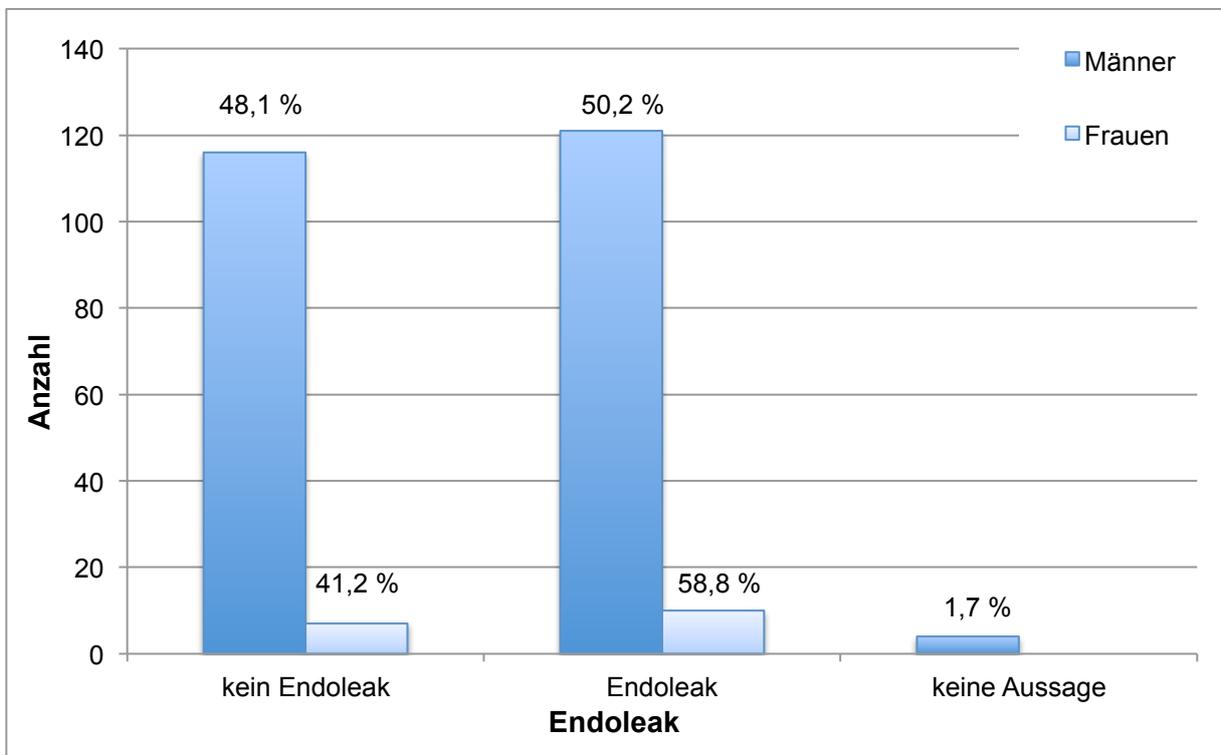
#### 4.1.2 Art der nachgewiesenen Endoleaks

Die Art der Endoleaks wurde zunächst nur durch Untersuchungen, die mit CEUS durchgeführt wurden, beurteilt. Insgesamt wurden 1095 Untersuchungen mittels CEUS durchgeführt. Insgesamt konnten bei 796 Untersuchungen (72,7 %) Endoleaks nachgewiesen werden.

Bei der ersten Kontrolluntersuchung nach Stentimplantation fanden sich 121 Endoleaks (50,2 %), bei 116 Patienten (48,1%) wurde kein Endoleak nachgewiesen und bei 4 weiteren Patienten (1,7 %) konnte keine Aussage bezüglich des Vorliegens eines Endoleaks getroffen werden.



**Abb. 9:** Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 241, 121 x Endoleak, 116 x kein Endoleak, 4 x keine Aussage möglich)



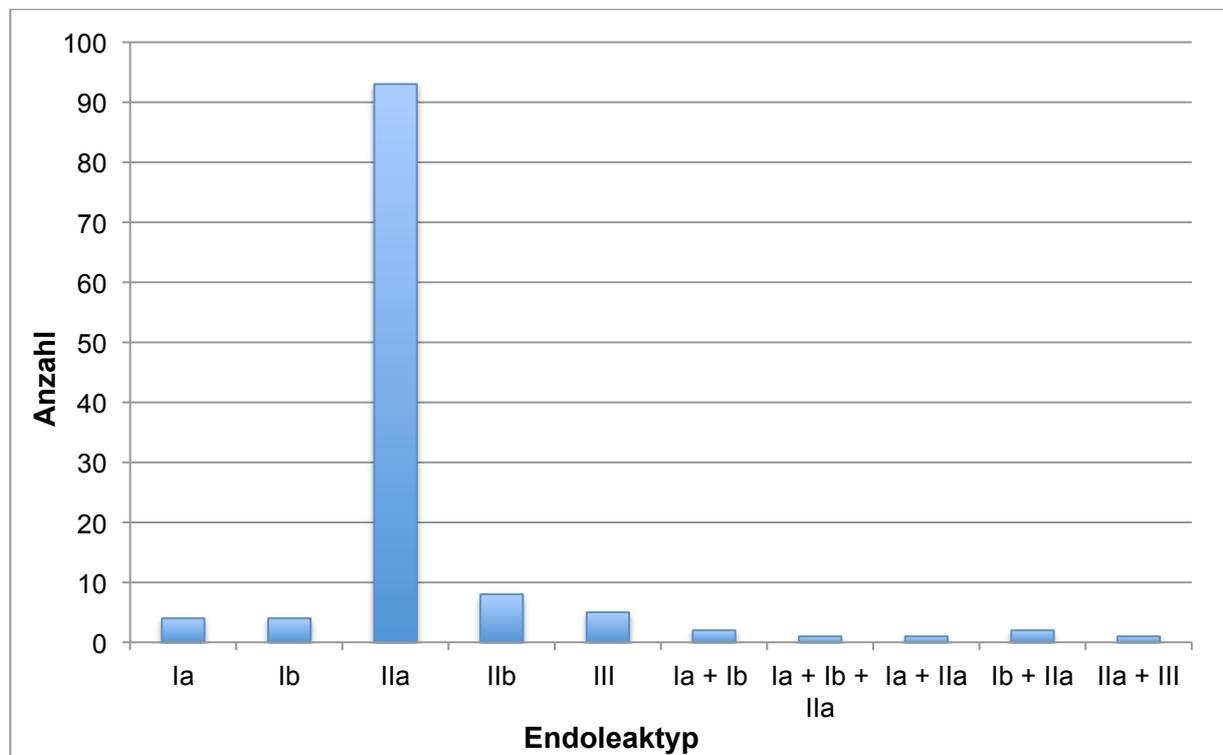
**Abb. 10:** Geschlechterverteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS. Chi-Quadrat-Test:  $p = 0,536$  (unter Ausschluss der Patienten, bei denen keine sichere Aussage über das Vorliegen eines Endoleaks getroffen werden konnte)

Die nachgewiesenen Endoleaks verteilten sich in der ersten Kontrolluntersuchung durch CEUS auf 4 Endoleaks des Typs Ia (3,1 %), 4 Endoleaks vom Typ Ib (3,1 %), 101 Endoleaks vom Typ IIa (77,1 %), 9 Endoleaks des Typs IIb (6,9 %), 6 Endoleaks des Typs III (4,6 %) sowie in 5,8 % der Fälle auf verschiedene Kombinationen der genannten Endoleaktypen.

**Tab. 8** und **Abb. 11** zeigen die Verteilung der verschiedenen Endoleaktypen bei der ersten aufgezeichneten Untersuchung nach EVAR durch CEUS:

Endoleaktyp	Anzahl	Prozent
Ia	4	3,3 %
Ib	4	3,3 %
IIa	93	76,9 %
IIb	8	6,6 %
III	5	4,1 %
Ia + Ib	2	1,7 %
Ia + Ib + IIa	1	0,8 %
Ia + IIa	1	0,8 %
Ib + IIa	2	1,7 %
IIa + III	1	0,8 %

**Tab. 8:** Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 121)

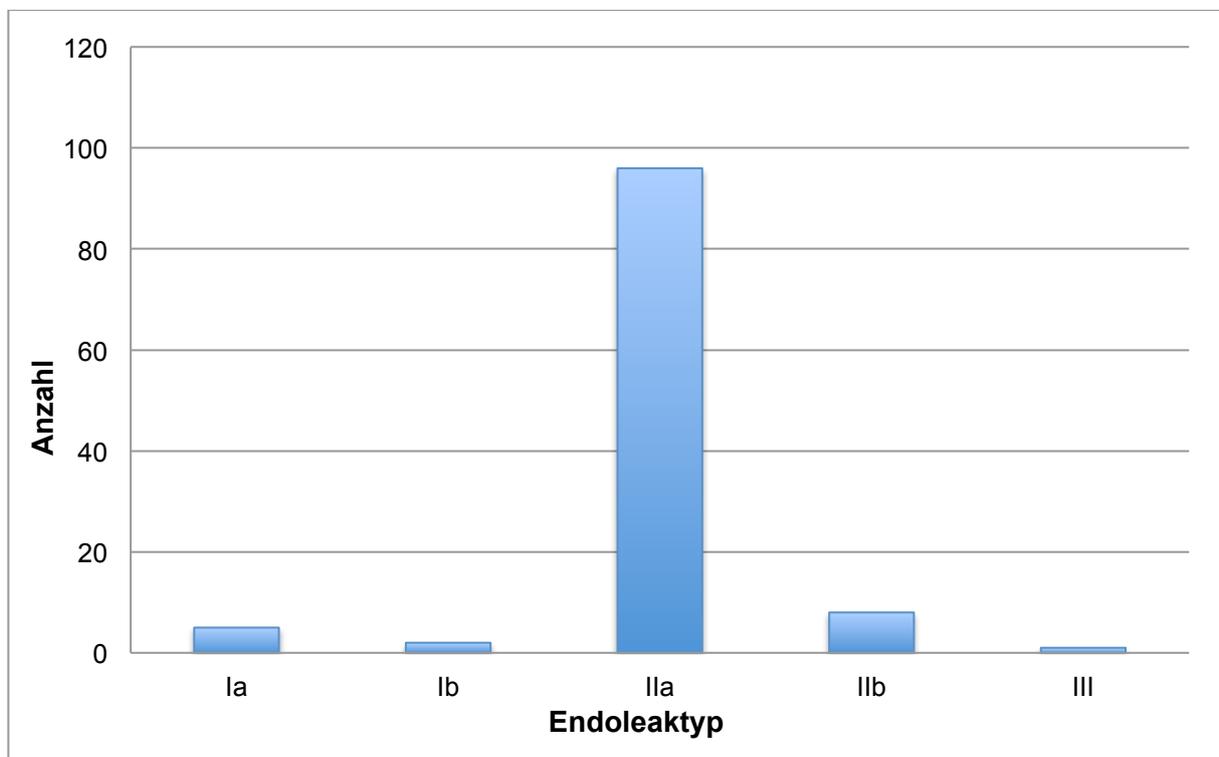


**Abb. 11:** Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 121)

**Tab. 9** und **Abb. 12** zeigen die Verteilung der Endoleaks im Verlauf und stellen diese zum Zeitpunkt der zuletzt angefertigten Kontrolluntersuchungen dar. Die Patienten, die insgesamt nur eine Kontrolluntersuchung erhielten, wurden in der folgenden Darstellung nicht berücksichtigt.

Endoleaktyp	Anzahl	Prozent
Ia	5	4,5 %
Ib	2	1,8 %
IIa	96	85,7 %
IIb	8	7,1 %
III	1	0,9 %

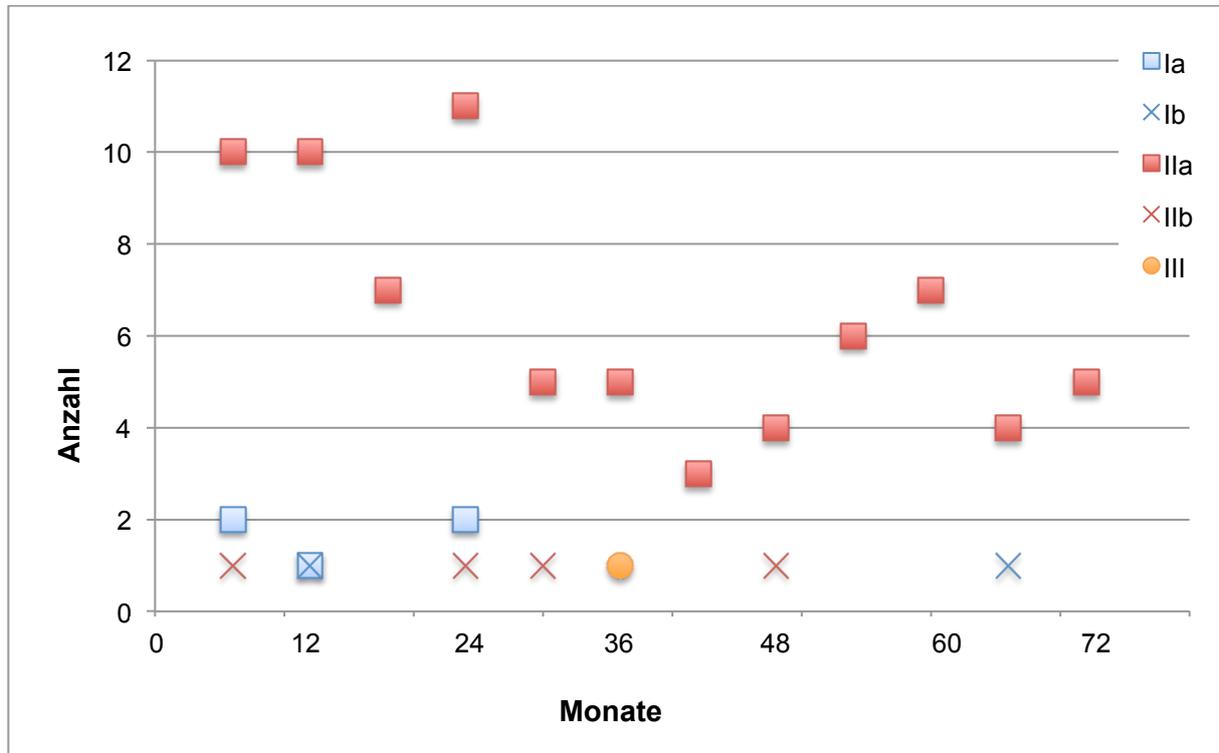
**Tab. 9:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung im Follow-Up nach EVAR durch CEUS (n = 173)



**Abb. 12:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung im Follow-Up nach EVAR durch CEUS (n = 173)

Da die Patienten über unterschiedlich lange Zeiträume beobachtet wurden, wurde als Ergänzung in Abb. 13 dargestellt, nach wie vielen Monaten die letzte Untersuchung der Patienten, die zu diesem Zeitpunkt ein Endoleak aufwiesen, im Follow-Up stattfand. Zur vereinfachten Darstellung wurden nur Untersuchungen innerhalb eines Untersuchungszeitraums von 72 Monaten festgehalten, wobei weitere Patienten Kontrolluntersuchungen bis zu einem Zeitraum von 114 Monaten erhielten. Insgesamt wurden in der unten stehenden Darstellung 19 Patienten, bei denen außerhalb des Beobachtungszeitraums von 72 Monaten zuletzt ein Typ-IIa-Endoleak nachgewiesen werden konnte

sowie 4 Patienten, bei denen in der letzten Verlaufskontrolle ein Typ-IIb-Endoleak detektiert wurde, nicht mit abgebildet.



**Abb. 13:** Zeitliche Einordnung der Endoleaktypen zum Zeitpunkt der letzten Verlaufskontrolle in einem Zeitraum von bis zu 72 Monaten. 23 Patienten wurden nicht mit in die Graphik aufgenommen, da bei diesen zu einem späteren Zeitpunkt weitere Endoleaks detektiert werden konnten (19 Typ-IIa-Endoleaks, 4 Typ-IIb-Endoleaks).

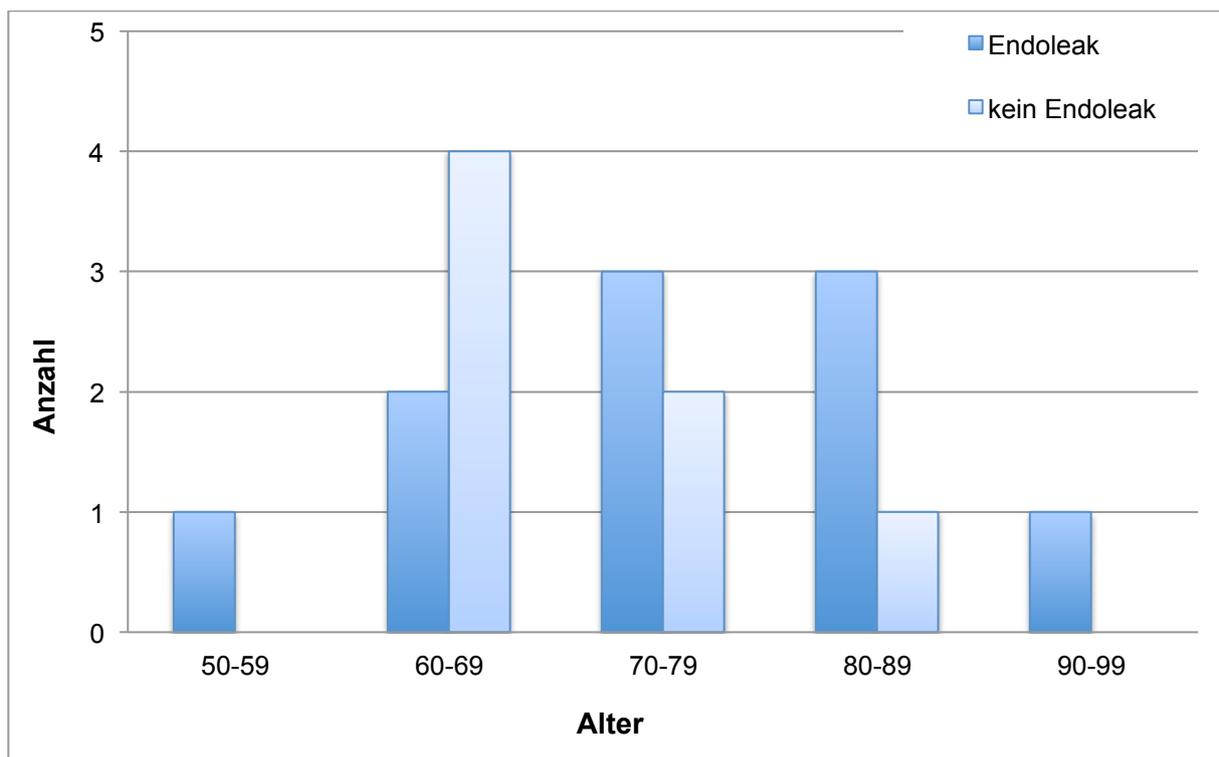
Am Ende der Kontrolluntersuchungen waren 17 der 121 in der ersten Kontrolluntersuchung detektierten Endoleaks verschlossen (14 %). Davon verschlossen sich 14 spontan (82,4 %), bei 3 Patienten fanden vor Verschluss Reinterventionen (RI) statt (17,6 %). Die folgende Tabelle unterscheidet zum einen, welchem Endoleaktyp die Endoleaks entsprachen, die in der primären Untersuchung detektiert wurden, jedoch am Ende des Follow-Ups verschlossen waren. Zum anderen ist angegeben, nach wie vielen Monaten sich die Endoleaks verschlossen haben. Da bei mehreren Patienten zum Zeitpunkt der ersten Kontrolluntersuchung Endoleaks vom Typ IIa detektiert wurden (n = 13), die am Ende der Verlaufskontrollen verschlossen waren, wurden zur vereinfachten Darstellung die Verschlusszeitpunkte der einzelnen Endoleaks des Typs IIa in Monaten in der nachfolgenden Tabelle unter einem Punkt aufgelistet. Fand zum Zeitpunkt des Verschlusses eine Reintervention statt, so wurde dies in Klammern hinter der Monatsangabe des Verschlusses vermerkt.

Endoleak	Anzahl	Verschluss (Monate)
Ia	1 (5,9 %)	17
Ib	1 (5,9 %)	1
IIa	13 (76,5 %)	12, 0 (RI), 16, 54, 8, 30, 1, 14, 30, 70 (RI), 68 (RI), 16, 0
IIb	1 (5,9 %)	37
III	1 (5,9 %)	3

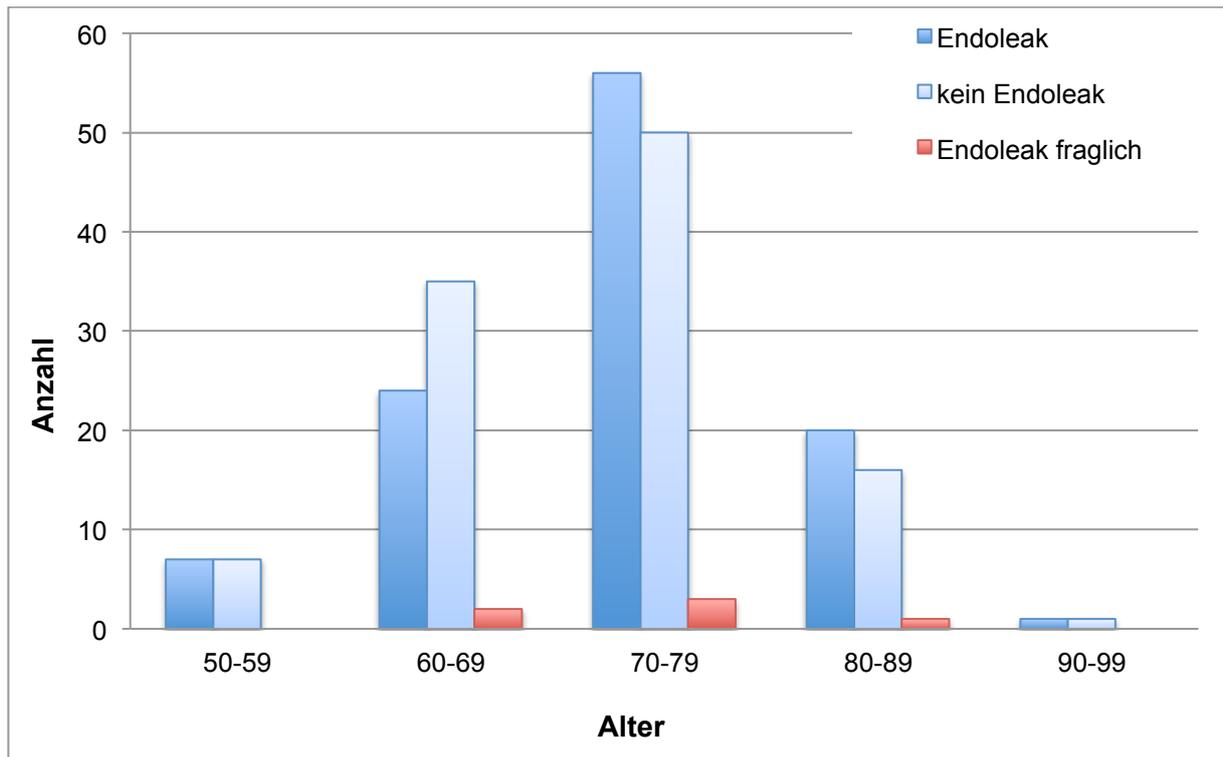
**Tab 10:** Verschluss der in der ersten Kontrolle detektierten Endoleaks im zeitlichen Verlauf

### 4.1.3 Geschlechter- und Altersverteilung

In den folgenden Grafiken ist die Altersverteilung bei der ersten Kontrolluntersuchung durch CEUS in Abhängigkeit des Geschlechts sowie vom Auftreten eines Endoleaks dargestellt:



**Abb. 14:** Altersverteilung in Abhängigkeit vom Vorliegen eines Endoleaks in der weiblichen Patientenkohorte

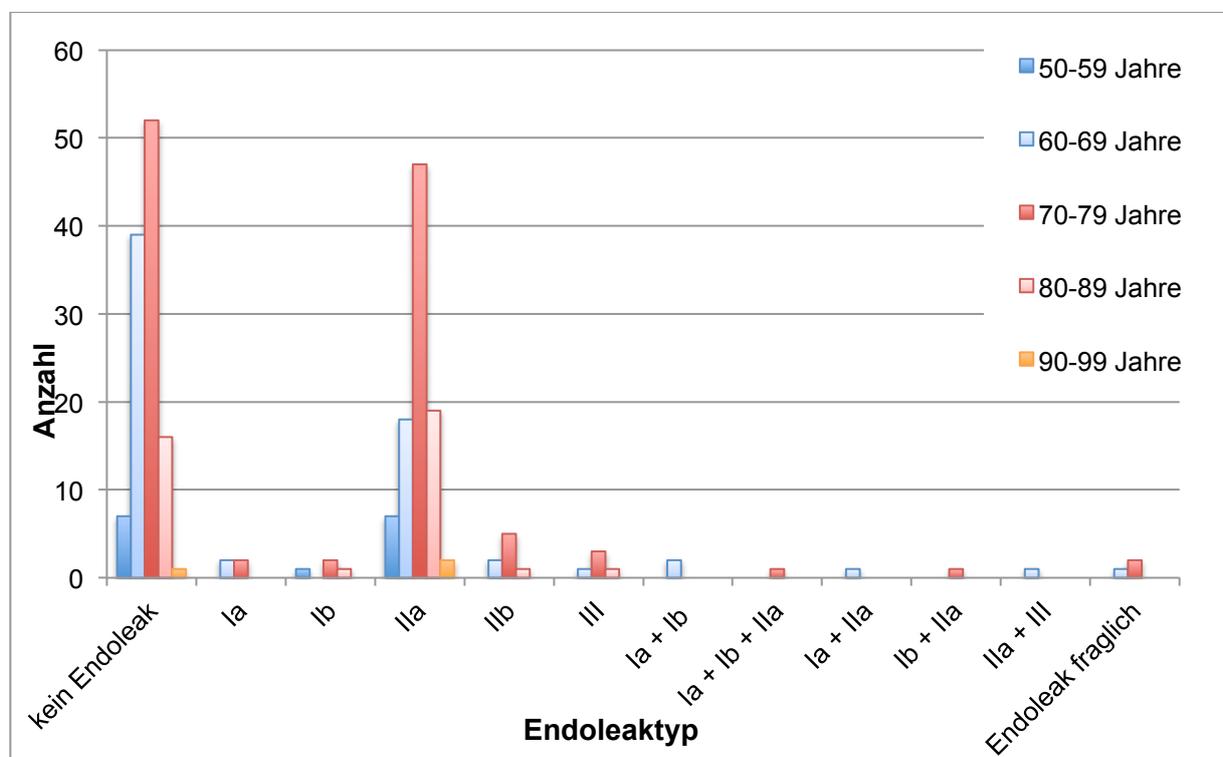


**Abb. 15:** Altersverteilung in Abhängigkeit vom Vorliegen eines Endoleaks in der männlichen Patientenkohorte

**Tab. 11** und **Abb. 16** zeigen die Verteilung der verschiedenen Endoleaks in Abhängigkeit der Altersgruppen bei der ersten postinterventionellen Kontrolluntersuchung:

Alter	kein Endoleak	Ia	Ib	IIa	IIb	III	Ia + Ib	Ia + Ib + IIa	Ia + IIa	Ib + IIa	IIa + III	Endoleak fraglich
50-59	7 (2,9)	0 (0)	1 (0,4)	7 (2,9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
60-69	39 (16,2)	2 (0,8)	0 (0)	18 (7,5)	2 (0,8)	1 (0,4)	2 (0,8)	0 (0)	1 (0,4)	0 (0)	1 (0,4)	1 (0,4)
70-79	52 (21,6)	2 (0,8)	2 (0,8)	47 (20,0)	5 (2,1)	3 (1,2)	0 (0)	1 (0,4)	0 (0)	1 (0,4)	0 (0)	2 (0,8)
80-89	17 (7,1)	0 (0)	1 (0,4)	19 (7,9)	1 (0,4)	1 (0,4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0,4)	0 (0)	1 (0,4)
90-99	1 (0,4)	0 (0)	0 (0)	2 (0,8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

**Tab. 11:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der ersten postinterventionellen Kontrolle in Abhängigkeit vom Alter (Prozentangaben in Klammern)



**Abb. 16:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der ersten postinterventionellen Kontrolle in Abhängigkeit vom Alter

Zur besseren Übersicht wurde in Tab. 12 die Punktprävalenz der Endoleaks für die verschiedenen Altersgruppen zusammengetragen. Die Patienten mit fraglichem Endoleak wurden bei der Berechnung der Punktprävalenz bei der Gesamtzahl der Endoleaks nicht berücksichtigt.

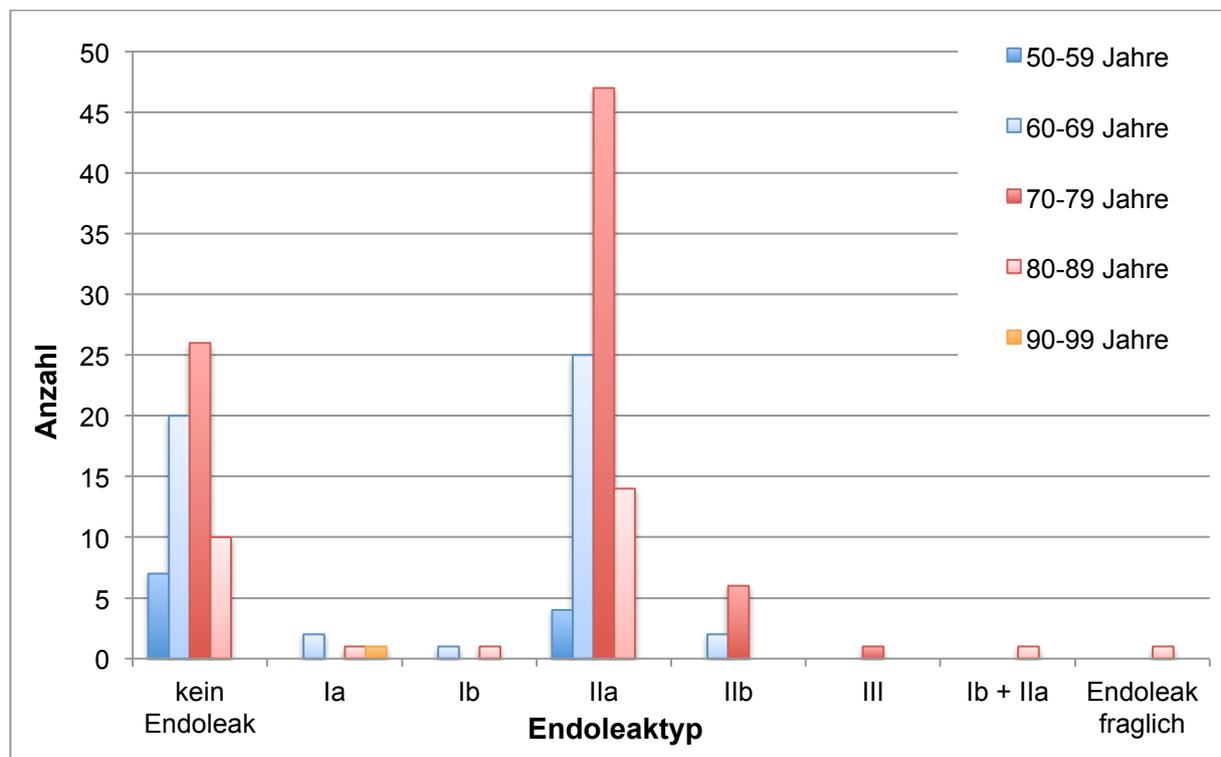
Alter	Gesamtanzahl Patienten	Ia	Ib	Ila	Ilb	III	Ia + Ib	Ia + Ib + Ila	Ia + Ila	Ib + Ila	Ila + III	Endoleaks gesamt
50-59	15	0 %	6,7 %	46,7 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	53,3 %
60-69	66	3,0 %	0 %	12,1 %	3,0 %	1,5 %	3,0 %	0 %	1,5 %	0 %	1,5 %	42,4 %
70-79	113	1,8 %	1,8 %	41,6 %	4,4 %	2,7 %	0 %	0,9 %	0 %	0,9 %	0 %	54,0 %
80-89	40	0 %	2,5 %	47,5 %	2,5 %	2,5 %	0 %	0 %	0 %	2,5 %	0 %	57,5 %
90-99	3	0 %	0 %	66,7 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	66,7 %

**Tab. 12:** Punktprävalenz der Endoleaks in den verschiedenen Altersgruppen zum Zeitpunkt der primär aufgezeichneten Kontrolluntersuchung nach EVAR

Im Verlauf der Kontrolluntersuchungen veränderte sich die Verteilung der Endoleaks. **Tab. 13** und **Abb. 17** dokumentieren die Verteilung der Endoleaks zum Ende des Follow-Ups. 71 Patienten erhielten ausschließlich eine einzige postinterventionelle Untersuchung durch CEUS und wurden aus der folgenden Darstellung herausgenommen.

Alter	kein Endoleak	Ia	Ib	IIa	IIb	III	Ib + IIa	Endoleak fraglich
50-59	7 (4,1)	0 (0)	0 (0)	4 (2,4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
60-69	20 (11,8)	2 (1,2)	1 (0,6)	25 (14,7)	2 (1,2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
70-79	26 (15,3)	0 (0)	0 (0)	47 (27,6)	6 (3,5)	1 (0,6)	0 (0)	0 (0)
80-89	10 (5,9)	1 (0,6)	1 (0,6)	14 (8,2)	0 (0)	0 (0)	1 (0,6)	1 (0,6)
90-99	0 (0)	1 (0,6)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

**Tab. 13:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle im Follow-Up in Abhängigkeit vom Alter (Prozentangaben in Klammern)



**Abb. 17:** Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle im Follow-Up in Abhängigkeit vom Alter

Auch für die letzte durchgeführte Untersuchung wurde die Punktprävalenz der Endoleaks für die verschiedenen Altersgruppen in Tab. 14 zusammengetragen. Die Patienten mit fraglichem Endoleak wurden bei der Berechnung der Punktprävalenz bei der Gesamtzahl der Endoleaks nicht berücksichtigt.

Alter	Gesamtanzahl Patienten	Ia	Ib	Ila	Ilb	III	Ib + Ila	Endoleaks gesamt
50-59	11	0 %	0 %	36,4 %	0 %	0 %	0 %	36,4 %
60-69	50	4 %	2 %	50 %	4 %	0 %	0 %	60 %
70-79	80	0 %	0 %	58,6 %	7,5 %	1,3 %	0 %	67,5 %
80-89	27	3,7 %	3,7 %	51,9 %	0 %	0 %	3,7 %	63,0 %
90-99	1	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %

**Tab. 14:** Punktprävalenz der Endoleaks in den verschiedenen Altersgruppen zum Zeitpunkt der zuletzt durchgeführten Kontrolluntersuchung im Follow-Up

## 4.2 Verlauf von Endoleaks und Aneurysmagröße

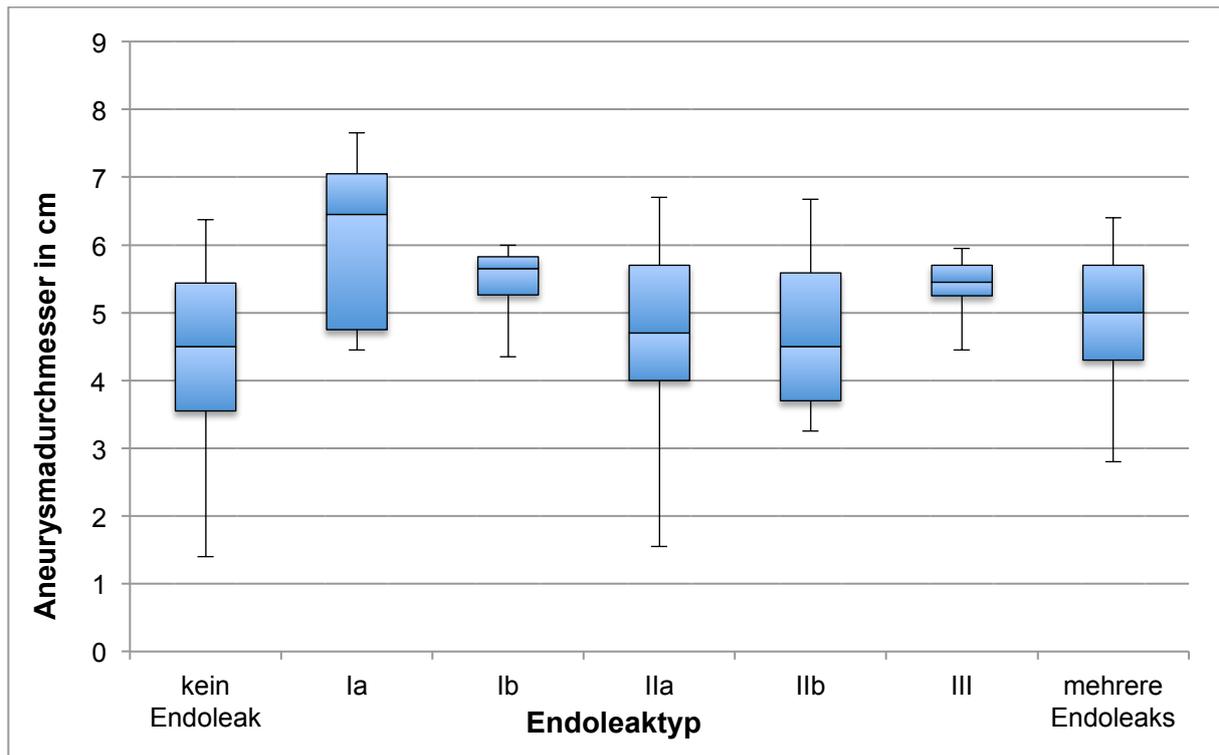
Die Aneurysmagröße wurde aus den Mittelwerten der Quer- und Sagittaldurchmesser berechnet. Wurde für das Aneurysma nur ein Durchmesser dokumentiert, so wurde dieser Wert herangezogen.

### 4.2.1 Zusammenhang zwischen Endoleaktyp und Aneurysmagröße

**Tab. 15** und **Abb. 18** zeigen die durch CEUS dokumentierten Aneurysmadurchmesser im Bezug auf das Vorliegen eines Endoleaks bzw. des Endoleaktyps. Diejenigen Untersuchungen, bei denen keine Aneurysmagröße dokumentiert wurde oder bei denen die Klassifizierung des Endoleaktyps fehlte, kommen in der folgenden Betrachtung nicht zur Darstellung.

	Anzahl	Mittelwert (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
<b>kein Endoleak</b>	325 (31,2 %)	4,56 ± 1,37	11,85	1,40
<b>Ia</b>	20 (1,9 %)	6,09 ± 1,26	7,90	4,45
<b>Ib</b>	14 (1,3 %)	5,51 ± 0,47	6,05	4,35
<b>Ila</b>	606 (58,2 %)	4,86 ± 1,17	8,75	1,55
<b>Ilb</b>	48 (4,6 %)	4,69 ± 1,05	6,85	3,25
<b>III</b>	11 (1,1 %)	5,35 ± 0,43	5,80	4,45
<b>mehrere Endoleaks</b>	17 (1,6 %)	4,77 ± 1,17	6,30	2,80

**Tab. 15:** Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (n = 1041)



**Abb. 18:** Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (n = 1041)

Da keine Normalverteilung der Residuen vorlag, wurde mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests ein p-Wert von  $< 0,001$  im Bezug auf die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen Aneurysmagröße und den verschiedenen Endoleaktypen gibt, berechnet.

Durch einen paarweisen Vergleich konnten innerhalb der Gruppen signifikante Unterschiede herausgestellt werden. (**Tab. 16**)

	kein Endoleak	la	lb	IIa	IIb	III	mehrere Endoleaks
kein Endoleak		x (p < 0,001)	x (p = 0,005)	x (p = 0,001)			
la	x (p < 0,001)			+ (p = 0,003)	+ (p = 0,004)		
lb	x (p = 0,005)						
IIa	x (p = 0,001)	+ (p = 0,003)					
IIb		+ (p = 0,004)					
III							
mehrere Endoleaks							

**Tab. 16:** Vereinfachte Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen (x = signifikanter Unterschied, + = signifikanter Unterschied mit mittlerer bis hoher Effektstärke, leeres Feld = kein signifikanter Unterschied)

#### 4.2.2 Progress von Endoleaks und Aneurysmagröße

Um Aussagen über die Stabilität der einzelnen Endoleaktypen treffen zu können, wurde beobachtet, inwiefern sich der Durchmesser im Verlauf des Follow-Ups veränderte und ob die Art der Endoleckagen stabil blieb. Als Maß für eine Größenänderung wurde eine Abweichung von 5 % des ursprünglich gemessenen Werts festgelegt.

Bei 87 Patienten fand ausschließlich eine einzige Untersuchung mittels CEUS statt, weshalb diese nicht in die Auswertung miteinbezogen wurden. Bei weiteren 7 Patienten wurde in der ersten postinterventionellen Kontrolle kein Durchmesser ausgemessen. Hier wurden jeweils diejenigen Untersuchungen herangezogen, in denen die Aneurysmagröße erstmals dokumentiert wurde.

In **Tab. 17** und **Abb. 19** ist der Größenverlauf des Aneurysmasacks bezugnehmend auf die erste und letzte Kontrolluntersuchung dargestellt. Bei 17 Patienten kam es zum Verschluss des Endoleaks.

Typ	Gesamt	Größer	Kleiner	Gleich	Änderung des Endoleaktyps
kein Endoleak	77 (44,3 %)	13 (16,9 %)	47 (61 %)	21 (27,3 %)	32 (41,6 %)
Ia	4 (2,3 %)	0 (0 %)	2 (50 %)	2 (50 %)	3 (75 %)
Ib	2 (1,1 %)	0 (0 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	2 (100 %)
IIa	77 (44,3 %)	25 (32,5 %)	41 (53,2 %)	15 (19,5 %)	17 (22,1 %)
IIb	5 (2,9 %)	3 (60 %)	2 (40 %)	1 (20 %)	2 (40 %)
III	3 (1,7 %)	2 (66,7 %)	1 (33,3 %)	0 (0 %)	2 (66,7 %)
Ia + Ib	2 (1,1 %)	1 (50 %)	0 (0 %)	1 (50 %)	2 (100 %)
Ia + Ib + IIa	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
Ia + IIa	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
Ib + IIa	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
IIa + III	1 (0,6 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0 %)	1 (100 %)

Tab. 17: Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und letzte Untersuchung)

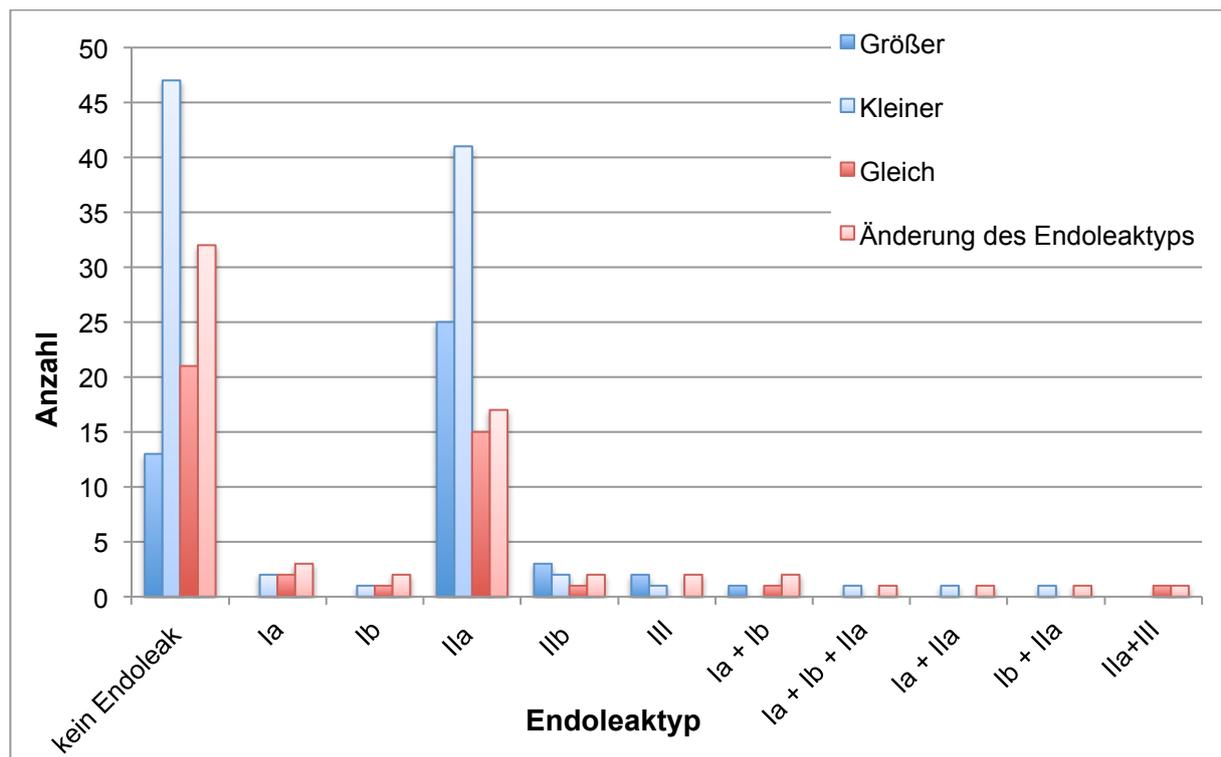


Abb. 19: Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und letzte Untersuchung)

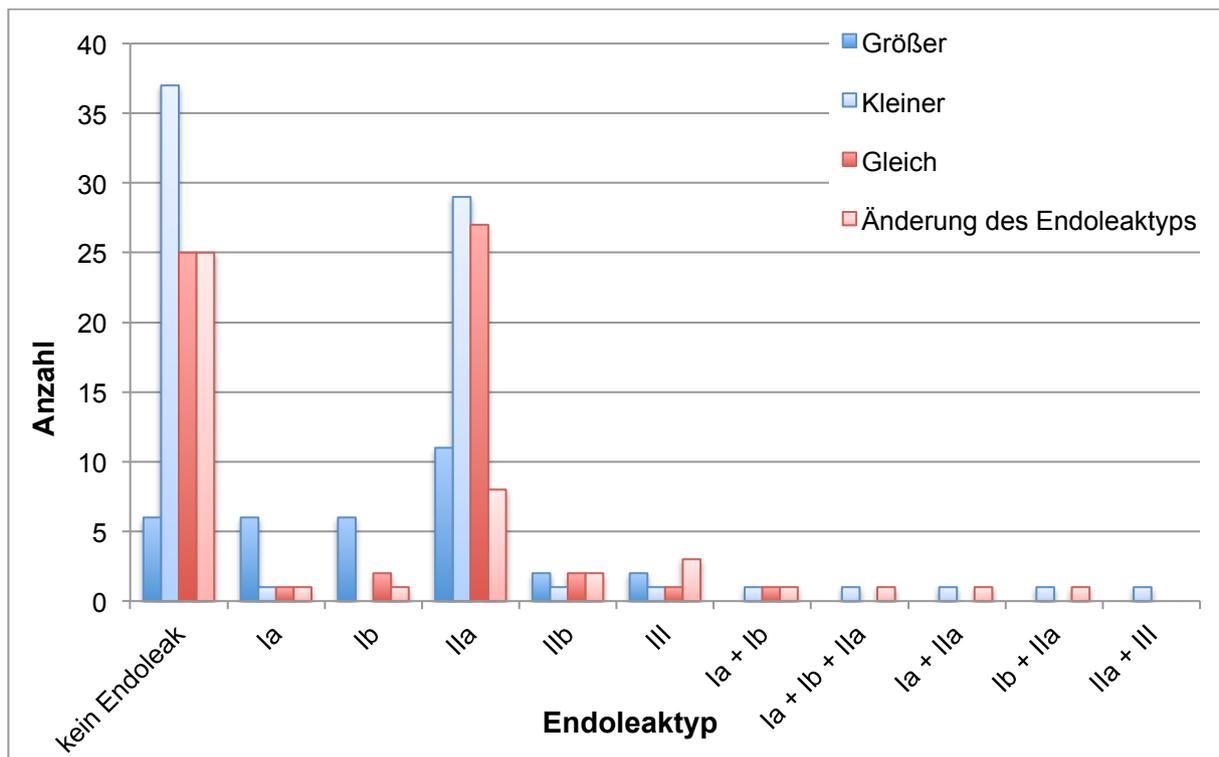
Darüber hinaus wurden weitere Verlaufsberechnungen von Untersuchungen durchgeführt, die mindestens 6 Monate auseinander lagen. Die weiteren Auswertungen mit zeitlichem Mindestabstand sollten einer Verfälschung der Ergebnisse durch einen zu kurzen Beobachtungszeitraum vorbeugen. Lagen mehrere Vergleichswerte vor, so wurden zum einen die Werte mit der auffälligsten

Größenänderung verglichen sowie die Kontrolluntersuchungen, die zeitlich am nächsten zur Erstuntersuchung lagen, bei denen im Verlauf jedoch mindestens 6 Monate vergangen waren. Diese Beobachtung war bei 154 Patienten möglich.

Betrachtet man die Änderung der Aneurysmagröße zwischen den ersten postinterventionellen Kontrollen, die im Abstand von mindestens 6 Monaten angefertigt wurden, so schrumpfte das Aneurysma bei 48,1 % der Patienten (n = 74), vergrößerte sich in 13,6 % der Fälle (n = 21) oder zeigte bei 38,3 % (n = 59) im Verlauf keine Größenänderung. Bei 28,6 % der Patienten (n = 44) änderte sich der Endoleaktyp bzw. trat ein Endoleak neu auf. (**Tab. 18, Abb. 20**)

Typ	Gesamt	Größer	Kleiner	Gleich	Änderung des Endoleaktyps
<b>kein Endoleak</b>	68 (44,2 %)	6 (8,8 %)	37 (54,4 %)	25 (36,8 %)	25 (36,8 %)
<b>Ia</b>	2 (1,3 %)	0 (0 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	1 (50 %)
<b>Ib</b>	2 (1,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (100 %)	1 (50 %)
<b>IIa</b>	67 (43,5 %)	11 (16,4 %)	29 (43,3 %)	27 (40,3 %)	8 (11,9 %)
<b>IIb</b>	5 (3,2 %)	2 (40 %)	1 (20 %)	2 (40 %)	2 (40 %)
<b>III</b>	4 (2,6 %)	2 (50 %)	1 (25 %)	1 (25 %)	3 (75 %)
<b>Ia + Ib</b>	2 (1,3 %)	0 (0 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	1 (50 %)
<b>Ia + Ib + IIa</b>	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
<b>Ia + IIa</b>	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
<b>Ib + IIa</b>	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
<b>IIa + III</b>	1 (0,6 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

**Tab. 18:** Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und nachfolgende Untersuchung)

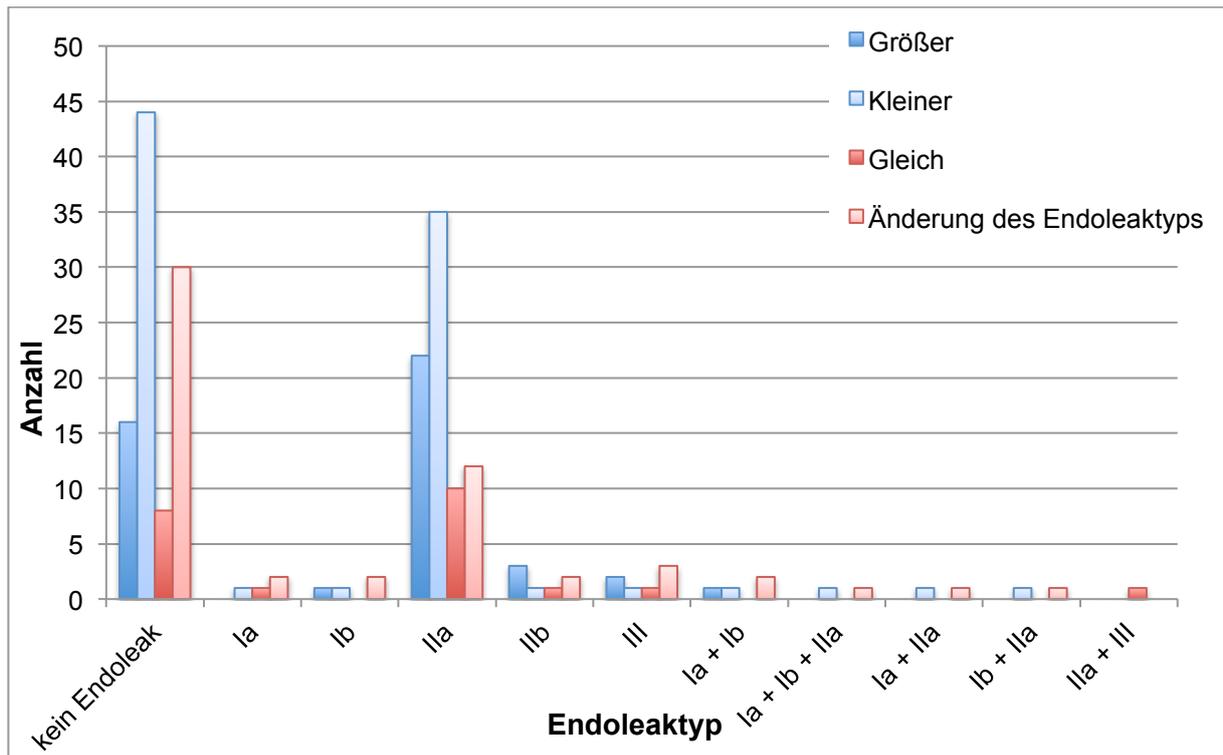


**Abb. 20:** Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (erste und nachfolgende Untersuchung)

Schaut man sich den Größenverlauf der Aneurysmen bezogen auf den im Follow-Up maximal gemessenen Größenunterschied an, so wurde das Aneurysma in 56,5 % kleiner ( $n = 87$ ), in 29,2 % größer ( $n = 45$ ) und in 14,3 % ( $n = 22$ ) blieb es gleich groß. (**Tab. 19, Abb. 21**)

Typ	Gesamt	Größer	Kleiner	Gleich	Änderung des Endoleaktyps
kein Endoleak	68 (44,2 %)	16 (23,5 %)	44 (64,7 %)	8 (11,8 %)	30 (44,1 %)
Ia	2 (1,3 %)	0 (0 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	2 (100 %)
Ib	2 (1,3 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	0 (0 %)	2 (100 %)
Ila	67 (43,5 %)	22 (32,8 %)	35 (52,2 %)	10 (14,9 %)	12 (17,9 %)
Ilb	5 (3,2 %)	3 (60 %)	1 (20 %)	1 (20 %)	2 (40 %)
III	4 (2,6 %)	2 (50 %)	1 (25 %)	1 (25 %)	3 (75 %)
Ia + Ib	2 (1,3 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	0 (0 %)	2 (100 %)
Ia + Ib + Ila	1 (0,6%)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
Ia + Ila	1 (0,6%)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
Ib + Ila	1 (0,6%)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
Ila + III	1 (0,6%)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (100 %)	0 (0 %)

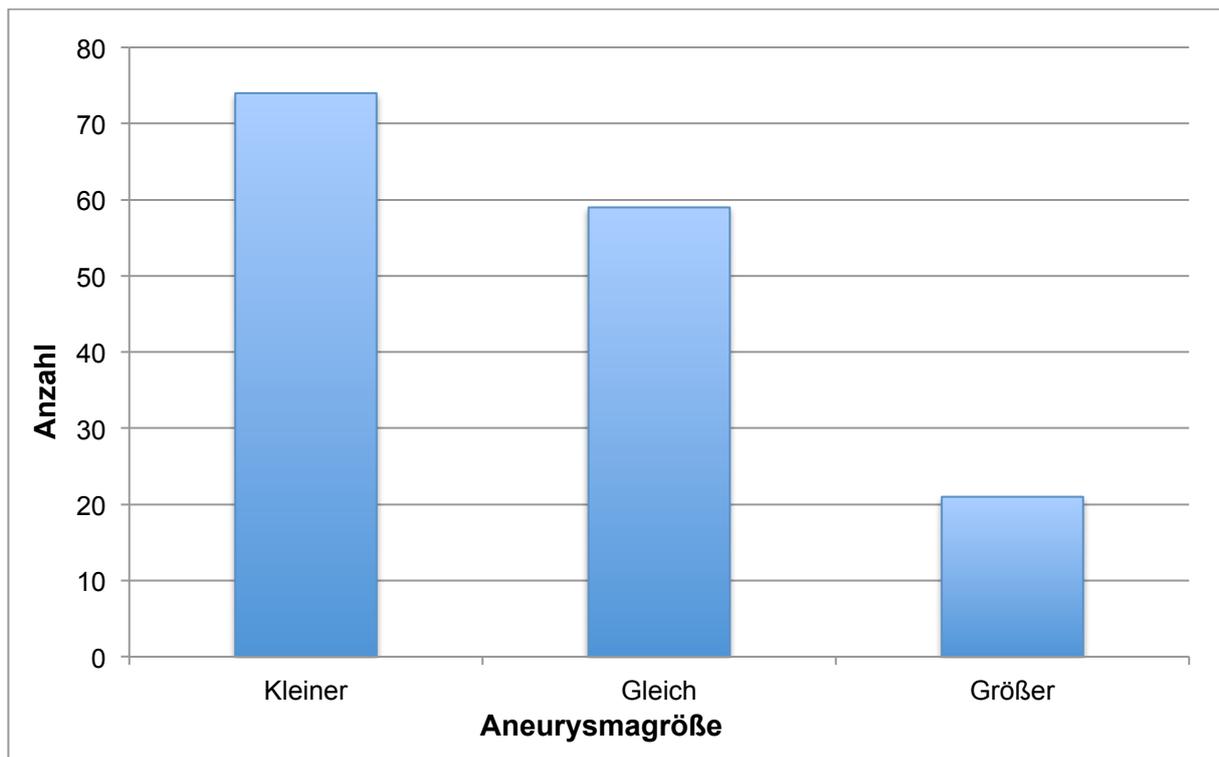
**Tab. 19:** Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (maximaler Größenunterschied)



**Abb. 21:** Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (maximaler Größenunterschied)

Es wurde für alle Patienten eine Wachstumsgeschwindigkeit des Aneurysmasacks berechnet. Hierzu wurden die Aneurysmagrößen zu Beginn und in der letzten Untersuchung des Follow-Ups verwendet, welche wiederum mit den jeweiligen Beobachtungszeiträumen in Monaten verrechnet wurden. Dies diente dazu Verfälschungen zu vermeiden, die durch unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume hervorgerufen worden wären. Anschließend wurde mithilfe der berechneten Wachstumsgeschwindigkeit und den verschiedenen Endoleaktypen mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests untersucht, ob sich die Wachstumsgeschwindigkeiten je nach Art des vorliegenden Endoleaks unterschieden. Es ergab sich ein p-Wert von 0,292 und somit kein signifikanter Unterschied.

Um den Verlauf der Aneurysmagrößen abschließend zu veranschaulichen, wurden die Mittelwerte der ersten Untersuchung gegen die Mittelwerte der letzten Untersuchung im Follow-Up aufgetragen und entsprechend ihrer Größenänderung in 3 Gruppen eingeteilt. Es wurde für diese Studie von der Autorin ein Maß von 5 % für die Größenänderung gewählt, da diese schnell detektierbar ist, jedoch nur relevante Änderungen aufzeichnet. Wuchs der Aneurysmasack um  $\geq 5\%$ , so wurden sie der Gruppe „größer“ zugeordnet, nahm sie um  $\geq 5\%$  ab, so wurde sie der Gruppe „kleiner“ zugeordnet. Die Aneurysmagrößen, die weniger als 5 % zu- oder abnahmen, wurden der Gruppe „gleich“ zugeordnet. Dabei war bei 48,1 % der Patienten eine Schrumpfung des Aneurysmasacks zu beobachten, wohingegen bei 13,6 % das Aneurysma an Größe zunahm. Bei 38,3 % blieb die Aneurysmagröße konstant. (**Abb. 22**)



**Abb. 22:** Veränderung der Aneurysmagröße bis zur letzten Kontrolle (n = 154)

### 4.3 Vergleich von CEUS und CT

Bei 182 von den ursprünglich 241 mit in die Untersuchung eingeschlossenen Patienten konnte eine vergleichende Auswertung der Kontrolluntersuchung durch CEUS und MS-CT stattfinden. Dabei wurden Paare gebildet, welche aus zeitnah ( $\pm 6$  Monate) durchgeführten CEUS- und CT Untersuchungen bestanden. Insgesamt konnten 327 CEUS/CT-Paare gebildet werden, von denen 83 am gleichen Tag stattfanden. In 112 Fällen wurde zuerst die CEUS-Untersuchung durchgeführt, bei 132 weiteren Untersuchungen fand als erstes die Kontrolle durch CT statt.

Im Folgenden wurde die Sensitivität und Spezifität berechnet, wobei als Goldstandard die Untersuchung durch CTA festgelegt wurde. Es wurden für die Berechnung die Vergleichspaare ausgeschlossen, bei denen zwischen den Untersuchungen entweder eine Reintervention stattgefunden hat oder in denen keine Aussage zum Vorliegen eines Endoleaks getroffen wurde, sodass im Folgenden die Berechnung an 300 Vergleichspaaren vorgenommen wurde. Hierbei betrug die Sensitivität 90,2 % und die Spezifität 62,4 %.

Die Befunde durch CEUS waren 110 mal richtig positiv, 67 mal falsch positiv, 111 mal richtig negativ und 12 mal falsch negativ. Unter der Voraussetzung, dass die CT nicht den Goldstandard darstellt, wurde zur Vergleichbarkeit beider Untersuchungsmethoden Cohens Kappa berechnet. Dieser Wert betrug 0,5. Im McNemar-Test wurde ein p-Wert  $< 0,001$  berechnet.

Beim Vergleich der CT/CEUS-Paare ergaben sich einige Unterschiede. Die Verteilung der verschiedenen Endoleaks gestaltete sich folgendermaßen:

Typ	CEUS	Prozent	CT	Prozent
kein Endoleak	129	43 %	179	59,7 %
Ia	10	3,3 %	7	2,3 %
Ib	7	2,3 %	11	3,7 %
IIa	138	46 %	66	22 %
IIb	7	2,3 %	15	5 %
III	9	3 %	13	4,3 %
IV	0	0 %	1	0,3 %
Ia + Ib	3	1 %	0	0 %
Ia + Ib + IIa	1	0,3 %	0	0 %
Ia + IIa	1	0,3 %	1	0,3 %
Ia + IIb + III	0	0 %	1	0,3 %
Ia + III	0	0 %	1	0,3 %
Ib + IIa	3	1 %	1	0,3 %
Ib + IIb	0	0 %	2	0,6 %
Ib + III	0	0 %	1	0,3 %
IIa + III	1	0,3 %	4	1,3 %
keine Aussage	8	2,7 %	14	4,7 %

Tab. 20: Verteilung der verschiedenen Endoleaktypen im Vergleich CEUS vs. CT

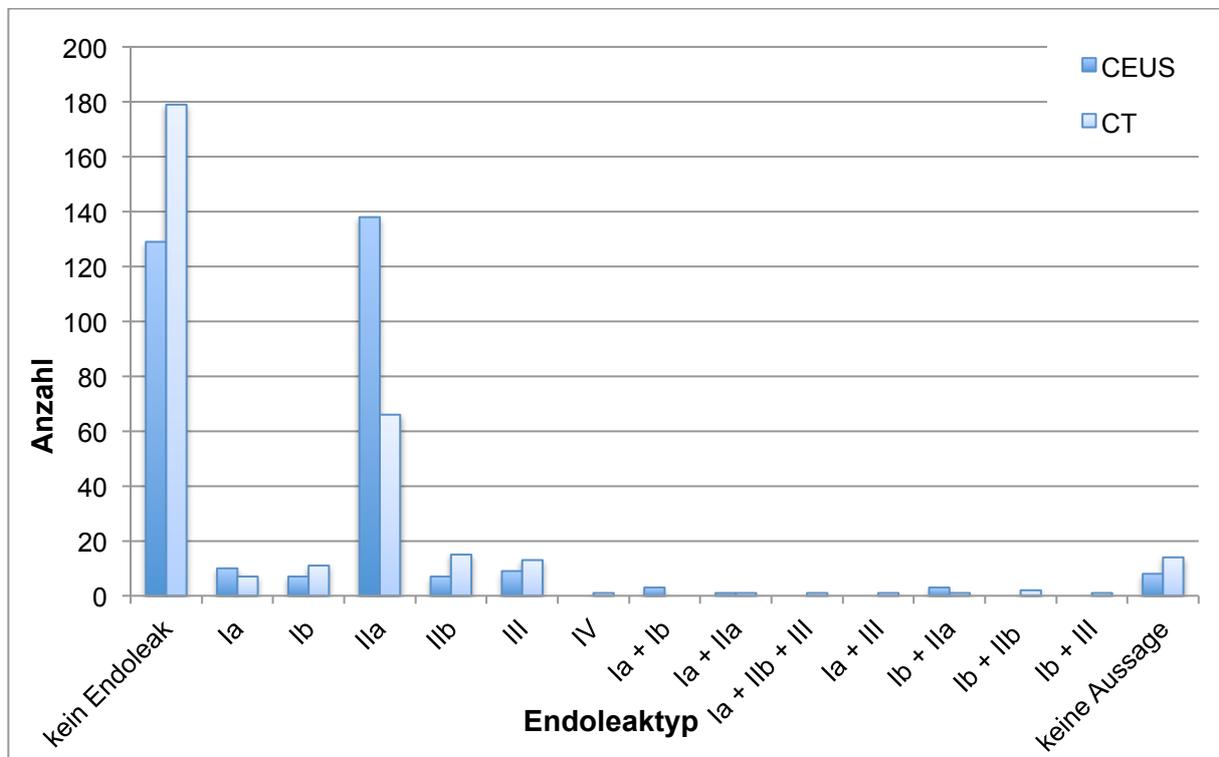
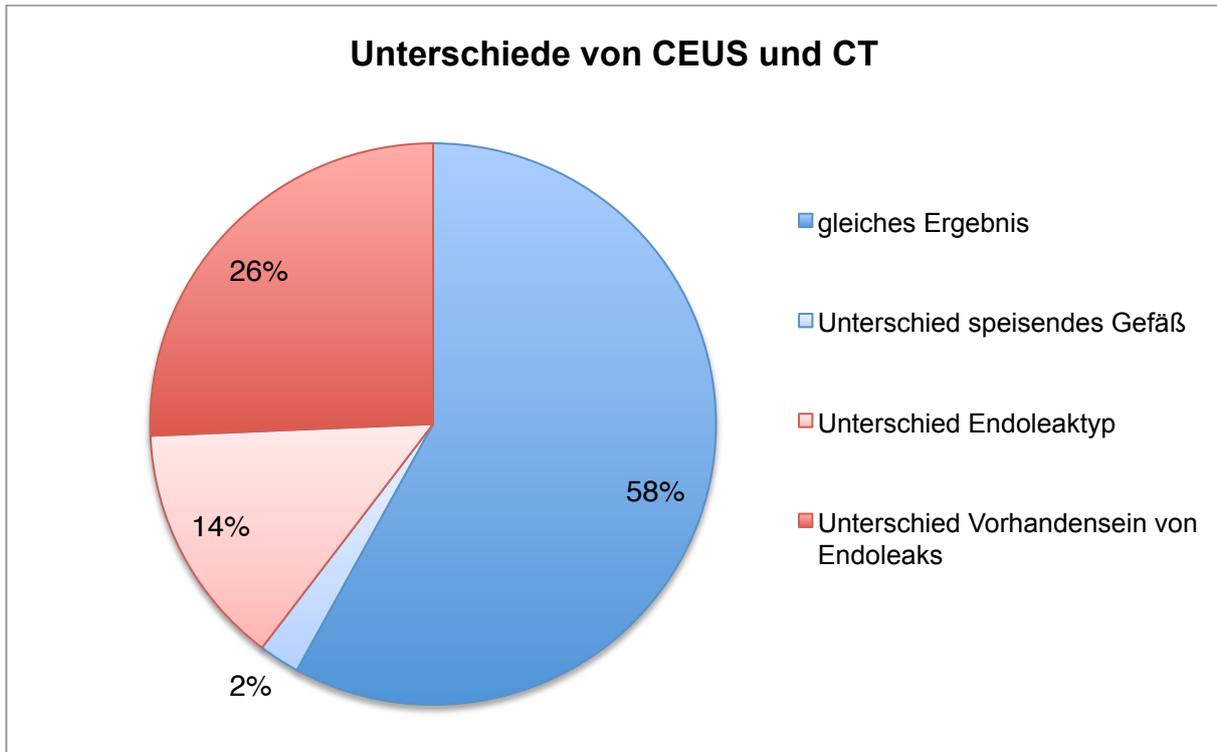


Abb. 23: Verteilung der verschiedenen Endoleaktypen im Vergleich CEUS vs. CT

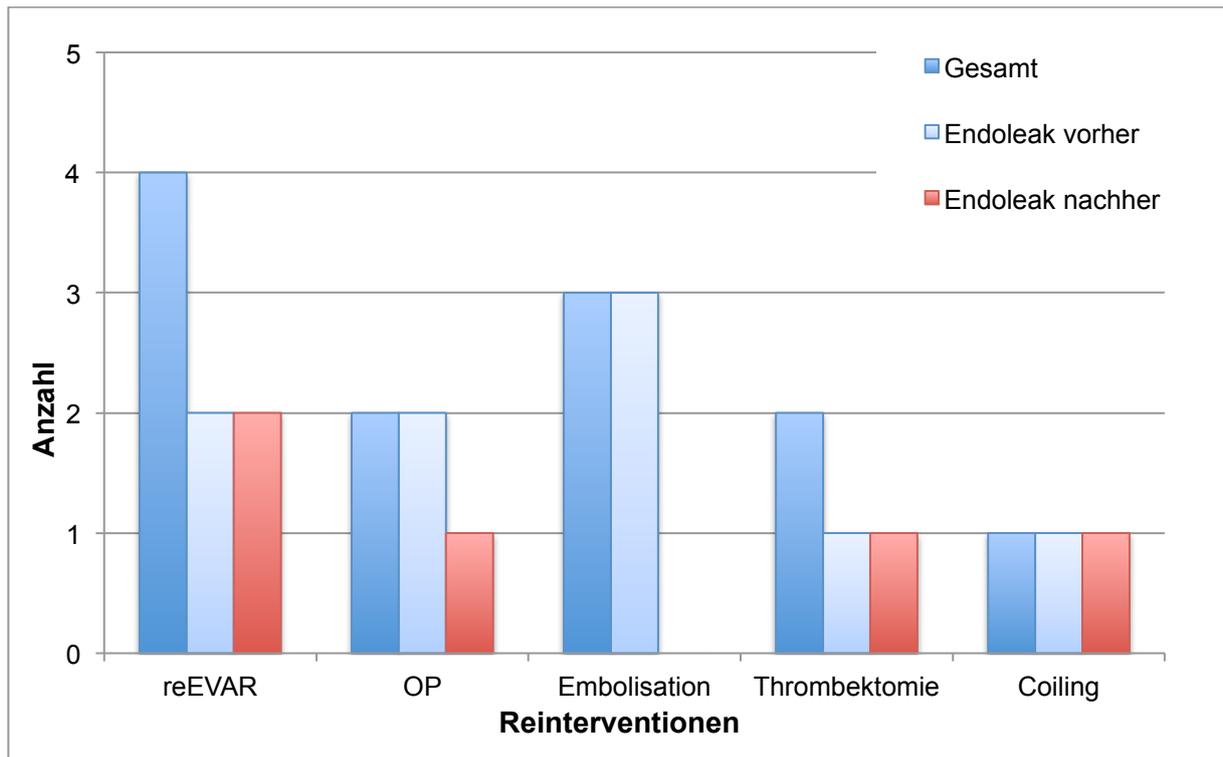
Bei 174 Kontrollen unterschieden sich die Untersuchungsergebnisse nicht, bei 7 Paaren wurden lediglich unterschiedliche den Aneurysmasack speisende Gefäße dokumentiert, bei 42 Paaren unterschieden sich die Messungen im Endoleaktyp und bei 77 weiteren Untersuchungen wurde nur bei einer der beiden Untersuchungsmodalitäten ein Endoleak aufgezeichnet. Bei 17 Vergleichspaaren wurde entweder in einer oder in beiden Untersuchungen keine Aussage zum Vorhandensein eines Endoleaks getroffen, weshalb diese nicht in die folgende Grafik einbezogen wurden. (**Abb. 24**)



**Abb. 24:** Unterschiede bei den Messungen der CEUS/CT-Paare (n = 303)

Bei 12 Patienten fand zwischen den Vergleichsuntersuchungen eine Reintervention statt, wobei unterschiedliche Methoden angewendet wurden. (**Abb. 25**)

In 7 Fällen konnte ein Endoleak erfolgreich verschlossen werden (2 x reEVAR, 3 x Embolisation, 1 x Thrombektomie). Bei 2 Patienten wurde in der letzten computertomographisch aufgezeichneten Untersuchung vor der Reintervention kein Endoleak verzeichnet, welches nach der Intervention durch CEUS nachweisbar war (1 x reEVAR, 1 x Thrombektomie). Bei einem weiteren Patienten wurde in der letzten CT-gesteuerten Untersuchung vor reEVAR nicht dokumentiert, ob ein Endoleak vorlag, bei der Kontrolle durch CEUS nach Reintervention konnte kein Blutausstrom aus dem Stentgraft gesichtet werden.



**Abb. 25:** Reinterventionen zwischen den Vergleichsuntersuchungen durch MS-CT und CEUS (n = 12)

## 5 Diskussion

### 5.1 Auftreten von Endoleaks

Obwohl Bauchortenaneurysmen Frauen seltener betreffen, konnte hinsichtlich des Vorkommens von Endoleaks nach EVAR kein signifikanter Unterschied in der Geschlechterverteilung bei der in dieser Studie untersuchten Patientenkohorte gezeigt werden ( $p = 0,536$ ) (12). Gemäß den Angaben in der Literatur konnte zwar in dieser Studienpopulation ein sehr geringer geschlechtsspezifischer Altersunterschied aufgezeichnet werden (Männer 72,35 vs. Frauen 73,65 Jahre), welcher sich jedoch nicht als statistisch signifikant erwies ( $p = 0,82$ ).

Es gelang der Nachweis von 796 Endoleaks (72,7 %) bei den insgesamt 1095 durchgeführten CEUS-Untersuchungen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass sich im Verlauf einige Endoleaks spontan verschlossen haben (14 %) bzw. dass einige Endoleaks erst im Verlauf aufgetreten sind. Zur besseren Beurteilbarkeit wurde daher das Vorhandensein von Endoleaks sowohl in der ersten als auch in der letzten Kontrolluntersuchung festgehalten.

In der ersten aufgezeichneten Untersuchung mittels CEUS nach Stenteinbau trat in 50,2 % der Fälle ( $n = 121$ ) ein Endoleak auf, bei 48,1 % der Fälle ( $n = 116$ ) lag kein Endoleak vor, bei 4 Patienten konnte durch CEUS keine Aussage bezüglich des Endoleaks getroffen werden. Bei den Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung durch CEUS handelte es sich in 77,1 % der Fälle ( $n = 101$ ) um ein Endoleak vom Typ IIa, unabhängig vom Alter. Diese Beobachtung ist gut vereinbar mit der Angabe von Typ-II-Endoleaks als das am häufigsten in der Literatur beschriebene Endoleak (6, 45).

In der letzten dokumentierten Kontrolluntersuchung fand man in 64,7 % der Fälle ( $n = 112$ ) ein Endoleak und in 35,3 % ( $n = 61$ ) stellte sich kein Endoleak dar. Auch hier wurden am häufigsten Typ-IIa-Endoleaks aufgezeichnet (85,7 %). Allerdings muss betont werden, dass bei der Analyse der Endoleakverteilung in der letzten Kontrolluntersuchung diejenigen Patienten nicht miteinbezogen wurden, die außer der primären Kontrolle keine weiteren Verlaufsuntersuchungen erhielten. Aufgrund der geringeren Fallzahl sind die Werte daher nur eingeschränkt vergleichbar.

Mit 50,2 % in der ersten aufgezeichneten Untersuchung bzw. 64,7 % in der letzten Kontrolle des Follow-Ups treten Endoleaks in dieser Patientenkohorte häufiger als sonst (15 - 45 %) auf (6). Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass insbesondere Patienten, bei denen ein Endoleak durch eine andere bildgebende Methode schon vor der Untersuchung mit CEUS detektiert wurde, vermutlich häufiger Kontrolluntersuchungen erhielten als Patienten, bei denen kein Endoleak detektiert werden konnte.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass in der vorliegenden Arbeit zwar der eingebaute Prothesentyp vermerkt wurde, jedoch keine Angaben über die verwendeten Stentmodelle gemacht wurden, sodass keine Aussage darüber getroffen werden konnte, ob möglicherweise ein bestimmter Stenttyp zu der hohen Anzahl an Endoleaks geführt haben kann. Während Brown et al. in ihrer Studie zu dem Ergebnis kamen, dass kein signifikanter Unterschied bezüglich sekundärer Interventionen bei der Verwendung des Talent-Grafts oder des Zenith-Grafts besteht (53), führten Hiatt et al. in ihrer Studie an, dass die Häufigkeit von Endoleaks je nach Art des verwendeten Transplantats variiert (54). Auch

Ouriel et al. konnten in ihrer Studie signifikante Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit von Gliedmaßenverschlüssen und Endoleaks zwischen verschiedenen Stentsystemen (Ancure, AneuRx, Excluder, Talent und Zenith) verzeichnen. Am häufigsten konnten Endoleaks bei eingebauten Excluder-Stents nachgewiesen werden (64 %,  $p = 0,003$ ), was in direktem Zusammenhang mit der erhöhten Häufigkeit von Typ-II-Endoleaks bei diesem Stentgraft steht (58 %,  $p = 0,001$ ). Mikroleckagen traten in dieser Studie besonders häufig bei AneuRx-Stents auf (55).

## 5.2 Diagnostische Genauigkeit von CEUS und CT

In der vorliegenden Arbeit wurden 300 vergleichende Kontrolluntersuchungen durch CEUS und CTA an 182 Patienten durchgeführt. Bezüglich der Detektion von Endoleaks wurde eine Sensitivität von 90,2 % und eine Spezifität von 62,4 % berechnet, wobei die Untersuchung mittels CTA als Goldstandard betrachtet wurde. Es ergaben sich 110 richtig positive, 67 falsch positive, 111 richtig negative und 12 falsch negative Ergebnisse.

In 58 % der Fälle ( $n = 174$ ) unterschieden sich die Ergebnisse der Untersuchungen nicht, in 2 % der Fälle ( $n = 7$ ) konnten lediglich Unterschiede der das Aneurysma speisenden Gefäße festgestellt werden. 14 % der Untersuchungen ( $n = 42$ ) zeigten Unterschiede der Endoleaktypen und bei 26 % ( $n = 77$ ) wurden sogar Unterschiede bezüglich des Vorhandenseins eines Endoleaks aufgezeichnet.

Einige andere Studien zeigten eine höhere Sensitivität und insbesondere auch eine bessere Spezifität, sodass CEUS im Rahmen der Nachkontrolle endovaskulär versorgter abdomineller Aortenaneurysmen gegenüber der CTA in der Literatur oft als mindestens gleichwertig bezüglich der Beurteilung von Endoleaks bewertet wird (56).

Iezzi et al. führten eine vergleichende Studie von CT und CEUS durch. Sie berechneten eine Sensitivität von 97,5 % und eine Spezifität von 81,8 % und erzielten mit einem Kappa-Koeffizienten von  $> 0,89$  eine nahezu perfekte Übereinstimmung beider Modalitäten (57).

Ten Bosch et al. konnten durch CEUS mehr Endoleaks als durch CT detektieren (53 % vs. 22 % der Fälle). In 61 % der Fälle gelangten die Untersuchungen zum gleichen Ergebnis. Allerdings zeigte Cohens Kappa mit einem Wert von 0,237 keine eindeutige Übereinstimmung der zu vergleichenden Modalitäten (58).

Cantisani et al. fanden in einer prospektiven Studie heraus, dass CEUS annähernd gleich gut wie CTA und MRA, jedoch der Duplexsonographie deutlich in der Sensitivität und Spezifität überlegen war. CEUS konnte hierbei Endoleaks entdecken, die durch andere Methoden nicht erfasst wurden (59). Auch Schmieder et al. führten Kontrolluntersuchungen mittels EVAR an 236 Patienten durch. Sie kamen zu der Erkenntnis, dass mit einer Sensitivität von 90 % und einer Spezifität von 81 % Endoleaks selbst durch FKDS ohne die Verwendung von KM besser erfasst werden konnten als durch die CT (60).

Gürtler et al. untersuchten die Rolle von CEUS bei der Detektion von Endoleaks nach EVAR, wobei die Untersuchungsergebnisse durch CTA als Goldstandard angesehen wurden. Verglichen mit den kontrastmittelverstärkten CT-Untersuchungen ergab sich eine Sensitivität von 97 % und eine Spezifität von 93 % für die Untersuchungen durch CEUS. Die Rate richtig positiver Ergebnisse lag für CEUS bei 42 %, die Rate falsch positiver Ergebnisse umfasste 4 % der Untersuchungen. Somit erschien den Autoren die Bildgebung durch CEUS verglichen mit der CTA gleichwertig bezüglich der Detektion von Endoleaks (7). Allerdings ist zu betonen, dass diese Ergebnisse aus der Nachsichtung und Korrektur der Befunde resultierten und dass die ursprünglich angelegten Daten der Studie eine schlechtere Übereinstimmung aufwiesen (Sensitivität 91,7 %, Spezifität 75,2 %). Auch der McNemar-Test erlaubte vor Nachsichtung der Daten nicht die Unterstützung der Annahme der Gleichwertigkeit beider Methoden (61).

In einer weiteren Studie führten Clevert et al. Untersuchungen an 35 Patienten nach EVAR durch. Die Autoren kamen zu der Ansicht, dass CEUS eine gute Alternative darstellt, um Endoleaks zu detektieren und zu klassifizieren. Als besonderen Ansatz dieser Studie stellten sie in unklaren Fällen eine Fusion der beiden Modalitäten als geeignetes Mittel heraus, um insbesondere kleine Endoleaks darzustellen (62). Auch Perini et al. kamen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass CEUS und CT gleichwertige Verfahren darstellten (63).

Mirza et al. veröffentlichten 2010 eine Metaanalyse, in der die Sensitivität 98 % und die Spezifität 88 % beim Vergleich von CEUS und MS-CT betrug (64). Innerhalb der 288 ausgewerteten Scan-Paare wurden nur 2 Endoleaks durch die CTA, aber nicht durch CEUS erfasst. Im Gegensatz dazu konnten wiederum 24 Endoleckagen nur durch CEUS dargestellt werden. Diese hohe Rate falsch positiver Ergebnisse erklärten die Autoren durch die Annahme, dass CEUS besser in der Lage sei Low-Flow-Endoleckagen aufzudecken (65). Bei 2601 Patienten wurde ebenfalls die Untersuchung durch FKDS betrachtet, welche mit einer Sensitivität von 77 % der CTA in dieser Studie allerdings unterlegen war (64).

Karthikesalingam et al. verglichen ebenfalls 11 Studien, für die sie eine Sensitivität von 96 % und eine Spezifität von 85 % berechneten (66). In einer sekundären Analyse berechneten sie die Werte erneut unter der Annahme, dass CEUS den Goldstandard darstellt und erhielten eine Sensitivität von nur 70 % und eine Spezifität von 98 %, was der Meinung der Autoren nach darauf hindeute, dass die tatsächliche Sensitivität von CEUS die von der CTA übertreffen könne. Allerdings räumten die Autoren Einschränkungen durch erhebliche Unterschiede zwischen Studien und Patienten ein sowie die bisher nicht ausgeschöpfte Möglichkeit mehr Low-Flow-Endoleaks als bisher durch das zusätzliche Aufzeichnen einer verzögerten Phase in der CT-Angiographie darzustellen (65).

Guo et al. fassten 19 Studien zusammen, die den Vergleich von CEUS und CTA an 1694 gepaarten Untersuchungen vornahm. Dabei konnten mithilfe von CEUS 138 und durch CTA 51 Endoleckagen identifiziert werden, die von der jeweils anderen Modalität nicht entdeckt wurden (67). Allerdings merkten die Autoren auch an, dass die alleine durch CEUS entdeckten Endoleaks sich fast nur auf solche des Typs II beschränkten, was meist keine therapeutische Konsequenz mit sich führe (65).

Eine weitere Metaanalyse aus 14 Studien führten Sun et al. durch. Mit CTA als Goldstandard berechneten sie eine Sensitivität von 88,9 % und eine Spezifität von 86,2 %. CEUS war in 11 der 14 Studien in der Lage mehr Endoleaks als die CTA zu erkennen (65).

Anhand des großen Patientenkollektivs der aufgeführten Metaanalysen kann gezeigt werden, dass durch CEUS Endoleaks sehr gut detektiert werden können. Allerdings weisen die Untersuchungen auch einige Einschränkungen auf. Beispielsweise lagen erhebliche Variationen zwischen den CTA-Phasenprotokollen zwischen den verschiedenen Institutionen vor. Außerdem wurden in mehreren der Studien die Ergebnisse der CT-Untersuchungen vor der Durchführung von CEUS für die durchführenden Kliniker nicht spezifisch verblindet. Die Bildgebung durch CTA könnte, wie bereits oben erwähnt, durch venöse Phasenverzögerung von bis zu 300 Sekunden erweitert werden, um die Detektion von Low-Flow-Endoleaks zu verbessern. Zudem könnten neuere zeitaufgelöste CT-Untersuchungen zur Verbesserung der Erkennung von kleinen Endoleckagen oder Endoleaks mit niedrigem Durchfluss führen. Im Gegensatz dazu wurde an der Technik von CEUS, wie z.B. der Zusammensetzung der Mikrobubbles oder der Ultraschallsoftware, stetig gearbeitet. Zudem könnte der klinische Stellenwert der berechneten Sensitivität durch die Tatsache begrenzt sein, dass viele der durch CTA nicht erkannten Endoleaks Low-Flow-Endoleaks des Typs II waren, aus deren Entdeckung meist keine therapeutische Konsequenz resultiert (65).

2019 veröffentlichten Harky et al. eine weitere Metaanalyse, in der CEUS eine höhere Sensitivität zeigte als die CT. In der Spezifität unterschieden sich die beiden Methoden nicht wesentlich. In den Gruppen der CT-Untersuchungen entgingen zudem mehr Endoleaks der Detektion (12 vs. 20). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass CEUS daher eine sichere und gleichzeitig effektive Screeningmethode bei post-EVAR-Patienten darstellt, die der Computertomographie keineswegs untergeordnet sei (11).

In einem weiteren Ansatz betrachteten Abbas et al. neben der Untersuchung mittels CEUS und CTA ebenso die Detektion von Endoleaks durch 3D-CEUS. Bei diesem Verfahren werden alle erfassten zweidimensionalen Informationen verwendet, um durch den Vergleich jedes Bildes mit einer Vielzahl von anderen innerhalb von Sekunden ein dreidimensionales Bild zu erzeugen. In ihrer Studie führten sie 30 gepaarte 3D-CEUS und CTA Untersuchungen an 23 Patienten durch, wobei mittels 3D-CEUS alle 18 Endoleaks detektiert werden konnten, wohingegen CTA nur 12 Stentundichtigkeiten erfasste (68).

Als Erweiterung der Doppler-Ultraschalltechnik hat die Firma Toshiba eine weitere Methode entwickelt, das Superb Micro-vascular Imaging (SMI), welche ermöglicht, langsam fließende Gefäße ohne Verwendung eines KM sichtbar zu machen. SMI ist in der Lage Blutströmungen mit niedriger Geschwindigkeit ohne den Einfluss von Bewegungsartefakten, die durch nahe gelegene Strukturen entstehen, zu visualisieren (69). Gabriel et al. wendeten dieses Untersuchungsverfahren an 30 Patienten im Rahmen der Kontrolluntersuchungen nach EVAR an. Sie kamen zum Ergebnis, dass SMI keine Unterschiede in Bezug auf Sensitivität, Spezifität oder Genauigkeit (100 %, 93 % und 97 %) zeigte. Ebenfalls konnten die Autoren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen CTA, CEUS und SMI hinsichtlich der Fähigkeit zur Detektion von Endoleckagen finden. Nachteile dieser Studie stellen die geringe Stichprobengröße, die Untersucherabhängigkeit, Schwierigkeiten bei der

Interpretation der Ergebnisse, das Fehlen eines definierten Protokolls sowie die Abhängigkeit von Geräten der Firma Toshiba dar (69).

Eine Erweiterung des CEUS stellt das Contrast Harmonic Imaging (CHI) dar. Anhand dieses Verfahrens kann die Reperfusion des Bauchaortenaneurysmas durch eine Time-Intensity-Curve (TIC) dargestellt werden, wodurch die Beurteilung der Perfusionsdynamik des Endoleaks gelingt. Ein anderes Einsatzgebiet, in dem sich die TIC-Analyse bereits bewährt hat, stellt die Beurteilung von intratumoralen Vaskularisationen dar, wenn der Doppler-Ultraschall mit KM diese nicht nachweisen konnte (70). Jung et al. führten eine Studie an 51 Patienten durch, in welcher CHI mit Perfusionsanalyse zum Einsatz kam. Verglichen mit CTA berechneten sie eine Sensitivität von 99 % und eine Spezifität von 93 % für die Erfassung von Endoleaks. Der Kappa-Koeffizient betrug 0,92. In 30 von 31 Fällen gelang die korrekte Klassifikation der Endoleaks durch diese Methode, weshalb die Autoren die Untersuchung mittels CHI als geeignetes Verfahren zur Endoleakdetektion ansehen, insbesondere wenn Kontraindikationen für die CTA vorliegen (70).

Wie in vielen der oben genannten Studien konnten auch in dieser Arbeit mehr Endoleaks durch CEUS als durch die CTA detektiert werden (57 % vs. 40 % der Fälle). Cohens Kappa zeigte mit einem Wert von 0,5 entsprechend der Grenzen nach Landis und Koch nur eine moderate Übereinstimmung der beiden Modalitäten (71). Aufgrund des zusätzlich im McNemar-Test berechneten p-Werts  $< 0,001$  musste die Annahme, dass beide Verfahren gleichwertig bezüglich der Endoleakdetektion sind, schlussendlich verworfen werden.

Da die CT allgemein als Goldstandard akzeptiert ist, wurde diese Modalität auch in der vorliegenden Studie als Referenzmethode ausgewählt (6). Allerdings lassen Beobachtungen aus dieser Arbeit den Schluss zu, dass die Ergebnisse durch die CT nicht bedingungslos als richtig angesehen werden können. Z.B. konnte bei zwei Patienten, die eine Reintervention erhielten, vor der Reintervention kein Endoleak in der CT aufgezeichnet werden. Da diese trotzdem eine Reintervention erhielten und danach in der Bildgebung durch CEUS ein Endoleak detektiert wurde, ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse der CT in diesen Fällen a.e. falsch sind. Auch aus anderen Studien sind z.T. hohe Raten falsch positiver Ergebnisse bekannt (57). Grundsätzlich kommen beispielsweise Fehler des Studiendesigns oder des angewandten CT-Phasenprotokolls in Frage (65). Dies bringt mit sich, dass z.B. bei uneindeutiger Fragestellung nicht gezielt nach Endoleaks geschaut wurde und solche dadurch fälschlicherweise übersehen werden konnten (61). So ergibt sich nicht nur für den Ultraschall, sondern auch für die CT-Untersuchungen eine Untersucherabhängigkeit.

Folglich ist CEUS als Methode zur Detektion von Endoleaks im Rahmen des Follow-Ups nach EVAR nicht als ungeeignet anzusehen, sondern es sollten unbedingt weitere Untersuchungen zu dieser Fragestellung durchgeführt werden. Dafür ist ein strukturiertes Studienprotokoll mit gezielter Fragestellung für die Befundung sowie die Untersuchung durch Spezialisten auf diesem Gebiet für die Auswertung unabdingbar und bei nachfolgenden Studien unbedingt zu beachten.

### **5.3 Zusammenhang zwischen Art des Endoleaks und Aneurysmagröße**

Zur Überprüfung, ob ein Zusammenhang zwischen der Art des Endoleaks und der Aneurysmagröße besteht, konnte anhand des Kruskal-Wallis-Tests gezeigt werden, dass sich die Aneurysmagrößen bei den verschiedenen Endoleaktypen signifikant unterschieden. Zur genaueren Beurteilung wurde anschließend ein paarweiser Vergleich durchgeführt. Kein signifikanter Unterschied zu anderen Endoleaktypen konnte bei Typ-III-Endoleaks oder beim Vorhandensein mehrerer Endoleaks festgestellt werden.

Den durchschnittlich größten Aneurysmadurchmesser wiesen Endoleaks vom Typ Ia mit einer Größe von  $6,09 \text{ cm} \pm 1,26 \text{ cm}$  auf. Dies erscheint nicht verwunderlich, da Endoleaks der Typen I und III als Hig-Flow-Endoleaks eine direkte Verbindung zur systemischen Blutzirkulation und somit auch große Aneurysmasäcke aufweisen (44, 45). Allerdings muss betont werden, dass statistisch signifikante Größenunterschiede nur im direkten Vergleich mit versorgten Aneurysmen ohne Nachweis bzw. mit Nachweis eines Typ-IIa- oder -IIb-Endoleaks nachgewiesen wurden. Endoleaks vom Typ III hingegen wiesen mit einer mittleren Größe von  $5,35 \text{ cm} \pm 0,43 \text{ cm}$  einen eher durchschnittlichen Wert auf und unterschieden sich auch nicht signifikant von anderen Endoleaks.

Der maximal gemessene Aneurysmadurchmesser konnte in dieser Arbeit wider Erwarten bei einem Patienten ohne Endoleak mit  $11,85 \text{ cm}$  gemessen werden und ist a.e. als Ausreißer zu betrachten. Im Durchschnitt lag die Aneurysmagröße bei fehlendem Endoleak bei  $4,56 \text{ cm} \pm 1,37 \text{ cm}$  und stellt die Gruppe mit dem kleinsten Durchmesser dar. Auch der minimal gemessene Wert von  $1,4 \text{ cm}$  konnte einem Patienten ohne Endoleak zugeordnet werden. Dies scheint plausibel, da zu erwarten ist, dass die durch EVAR versorgten Aneurysmen ohne resultierende Endoleaks keinen Bluteinstrom in den Aneurysmasack aufweisen und so auch nicht an Größe zunehmen. In dieser Arbeit konnten signifikante Größenunterschiede des Aneurysmasacks zwischen Endoleaks vom Typ Ia, Ib und IIa im direkten Vergleich mit endovaskulär versorgten Bauchortenaneurysmen ohne Nachweis eines Endoleaks aufgezeigt werden.

Da der Aneurysmadurchmesser den wichtigsten Faktor für einen Größenprogress bzw. für die Ruptur des Aneurysmas darstellt (72), empfehlen sich individuelle Nachsorgeschemata nach EVAR. Anhand der in dieser Studie erhobenen Daten wäre z.B. eine engmaschigere Kontrolle der Patienten mit Typ-II-Endoleaks sinnvoll, während bei Patienten ohne Endoleak die Verlaufsuntersuchungen in größeren Zeitabständen durchgeführt werden könnten.

### **5.4 Progression der Endoleaks**

Frühe Endoleaks sind zu 70 % selbstlimitierend, allerdings sollten diese stets im Verlauf kontrolliert werden, um weitere Diagnostik und ggf. eine Therapie einleiten zu können (3, 45). In der vorliegenden Arbeit konnte im Follow-Up lediglich ein Verschluss von 14 % ( $n = 17$ ) der in der ersten Kontrolle detektierten Endoleaks festgestellt werden. Entsprechend der Annahme, dass Typ-II-Endoleaks sich sehr häufig spontan verschließen, konnte auch in dieser Studienpopulation nahezu

ausschließlich ein Verschluss von Typ-II-Endoleaks ausgemacht werden (82,4 %, n = 14), wobei 3 von diesen interventionell therapiert wurden (45).

Um die Stabilität der verschiedenen Endoleaks zu untersuchen, wurde die Größenänderung des Aneurysmasacks von > 5 % sowie ein Wechsel des Endoleaktyps zu verschiedenen Zeitpunkten festgehalten. Dabei fiel auf, dass eine Änderung des Endoleaktyps wahrscheinlicher war, wenn zu Beginn entweder mehrere Endoleaks oder ein Typ-III-Endoleak detektiert wurden. Lagen mehrere Endoleaks vor, so konnte meist auch eine Größenabnahme des ausgemessenen Aneurysmasacks beobachtet werden. Eine Größenzunahme konnte am ehesten bei Typ-IIb- oder Typ-III-Endoleaks erkannt werden. Allerdings sind diese Ergebnisse unter Vorbehalt zu betrachten, da sich erhebliche Unterschiede sowohl in der Gruppengröße der Endoleaktypen als auch in den Beobachtungszeiträumen ergaben.

Anhand einer neu berechneten Wachstumsgeschwindigkeit wurde untersucht, ob die Verläufe der Endoleaks abhängig von ihrer Klassifikation signifikante Unterschiede aufwiesen. Da verschieden große Aneurysmen verglichen werden sollten, die über unterschiedlich lange Zeiträume beobachtet wurden, erschien diese Vorgehensweise geeignet zu sein. Allerdings ließ der berechnete p-Wert keinen Schluss vom Endoleaktyp auf die Wachstumsgeschwindigkeit des Aneurysmasacks zu.

In einer im Jahr 2013 veröffentlichten Arbeit am Klinikum Großhadern wurde ebenfalls mithilfe einer berechneten Wachstumsgeschwindigkeit überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen Aneurysmagröße und Art des Endoleaks besteht. Hier lieferte die statistische Analyse auch keine Hinweise auf signifikante Unterschiede (61).

Hao et al. veröffentlichten 2020 Daten einer prospektiv angelegten Studie, in welcher sie den Zusammenhang zwischen Aneurysmawachstum und dem Auftreten von Endoleaks untersuchten. In der ersten postoperativen Kontrolle nach 4 Monaten konnten sie eine signifikante Zunahme des Aneurysmavolumens bei Patienten mit Endoleak im Vergleich zu Patienten, die keine Endoleckagen aufwiesen, feststellen, welche allerdings nach 12 Monaten nicht mehr nachzuweisen war. Folglich kamen auch sie zu dem Schluss, dass Änderungen des Aneurysmavolumens das Auftreten von Endoleckagen nicht zuverlässig widerspiegeln können (73).

Da zu dieser Fragestellung bisher wenige Erkenntnisse vorliegen, sollten weitere Studien durchgeführt werden. Um genauere Aussagen über die Stabilität der Endoleaks je nach zugrundeliegender Art treffen zu können, sollten Kontrolluntersuchungen mit festgelegten Zeitabständen in einer prospektiv angelegten Studie stattfinden.

## **5.5 Verlaufsuntersuchung der Aneurysmagröße**

Die Rupturgefahr und somit auch die Prognose der Patienten ist am stärksten abhängig von der Aneurysmagröße (21). Alle Patienten dieser Studie erhielten eine EVAR mit dem Ziel eine Ruptur zu verhindern, die mit einer Größenzunahme des Aneurysmasacks in Verbindung gebracht werden kann (74).

In dieser Arbeit konnten bei 154 Patienten Verlaufsbeobachtungen der Aneurysmagröße stattfinden. Während bei 48,1 % eine Verkleinerung des Aneurysmasacks zu beobachten war und bei 38,3 % das Aneurysma größenkonstant blieb, konnte lediglich in 13,6 % der Fälle eine Größenzunahme des Aneurysmasacks vermerkt werden. Legt man das Sackwachstum des Aneurysmas als Qualitätskriterium fest, so kann insgesamt von einer erfolgreichen Therapie der Patienten gesprochen werden.

Während sich diese Arbeit mit der Größenänderung des Aneurysmasacks im Allgemeinen beschäftigt, wurden in anderen Studien diverse Faktoren beobachtet, die einen Einfluss auf das Verhalten der Aneurysmagröße im Verlauf haben.

Soler et al. untersuchten in ihrer Studie prädiktive Faktoren für die Reduktion des Aortendurchmessers  $\geq 1$  cm nach EVAR. Hierbei fiel auf, dass insbesondere jüngere Patienten mit langer und kleiner proximaler Halsanatomie des Aneurysmas eine signifikante Durchmesserreduktion aufwiesen und zugleich bessere Langzeitergebnisse erzielten. Allerdings war bei Patienten, die eine anfänglich schnelle Aneurysmareduktion zeigten, eine aufmerksame Nachsorge notwendig, da bei diesen wiederum späte Endolecksagen mit schnellem Aneurysmawachstum und erhöhtem Rupturrisiko zu finden waren (75).

Einen für die Regression des Aneurysmasacks signifikanten Faktor stellte in einer Arbeit von Rašiova et al. hingegen ein höheres Alter dar ( $p = 0,012$ ). Das Fehlen eines Typ-II-Endoleaks sowie ein vor der EVAR gemessener hoher Fibrinogenanteil waren ebenfalls bedeutend für die Durchmesserreduktion (76).

Den Einfluss des Bindegewebes auf die Aneurysmagröße untersuchten auch Nishibe et al. Hierfür überprüften sie den Zusammenhang zwischen dem Vorkommen einer einfachen Nierenzyste als häufige Manifestation der Bindegewebsdegeneration und der Aneurysmagröße. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Patienten mit einfacher Nierenzyste eine signifikant geringere Verkleinerung des Aneurysmasacks zeigten als Patienten ohne Vorliegen solcher Zysten (77).

Weitere prädiktive Faktoren für die Größenzunahme des Aneurysmas nach EVAR waren nach Schanz et al. das Vorliegen von Endoleaks, ein Aortenhalbdurchmesser  $> 28$  mm, ein Aortenhalbwinkel  $> 60^\circ$ , Alter  $> 80$  Jahre und ein Durchmesser der A. iliaca communis von  $> 2$  cm (74).

Ouriel et al. konnten in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen Aneurysmawachstum und dem Modell des eingebauten Stentgrafts feststellen. Eine Aneurysmaschrumpfung nach 12 Monaten sahen sie am häufigsten bei verschiedenen Gruppen von Zenith-Stentgrafts (54 % bzw. 52 %) und bei Talent-Stents (52 %), am seltensten konnte eine Sackschrumpfung bei Excluder-Stents festgestellt werden (15 %,  $p < 0,001$ ). Ein Sackwachstum konnten sie am häufigsten bei bestimmten eingebauten Zenith-Stents beobachten (13 %,  $p = 0,034$ ), die oft bei Patienten mit schwieriger aortoiliakaler Anatomie eingebaut wurden (55).

Ein interessantes Ergebnis erzielten auch Lee et al. in ihrer Studie an 108 Patienten, in der sie herausfanden, dass der maximale Aneurysmadurchmesser nach 6 Monaten zu beobachten war ( $p = 0,003$ ) (78). In der vorliegenden Arbeit wurde der Verlauf der Aneurysmagröße insbesondere an der zuerst sowie der zuletzt gemessenen Untersuchung gemessen, welche im Mittel einen

Zeitabstand von 30 Monaten aufwiesen. Aufgrund der gewählten Auswertungsmethode wurde davon ausgegangen, dass die Größenänderung sich konstant in eine Richtung bewegt und außer Acht gelassen, dass die Größenänderung am gleichen Patienten ggf. Schwankungen in beide Richtungen unterliegen könnte. In einem neuen Studienansatz sollte durch vorher festgelegte Untersuchungsabstände die Größenänderung zu mehreren Zeitpunkten aufgezeichnet und verglichen werden.

## **5.6 Allgemeine Vor- und Nachteile der Untersuchungsmethoden**

Wie schon in diversen anderen Studien festgehalten wurde, verfügen sowohl die Computertomographie als auch der kontrastmittelverstärkte Ultraschall über Vor- und Nachteile gegenüber der jeweils anderen Modalität.

CEUS überzeugt vor allem durch die nicht-invasive Untersuchung, gute Verfügbarkeit und mobile Anwendung, z.B. in der Ambulanz oder auch im OP (52). Insbesondere unter Zuhilfenahme der Farbduplexuntersuchung erlaubt CEUS zusätzlich die dynamische Untersuchung und Visualisierung des Blutflusses (79). Die Patienten sind hierbei keiner Strahlenbelastung ausgesetzt und die Untersuchung wird nicht durch eine Nierenfunktionsstörung oder bestehende Kontrastmittelallergie eingeschränkt. Außerdem ist das Verfahren deutlich kostengünstiger als die CT-Angiographie. Allerdings ist die Untersuchung bei ungünstigen Schallbedingungen wie Adipositas, Überlagerung durch Darmgase, Wunden oder Stomabeutel im Untersuchungsbereich eingeschränkt. Als Nachteil sind ebenfalls die stark vom Untersucher abhängige Qualität sowie die Benutzung spezieller Ultraschallgeräte, die nicht überall verfügbar sind, zu erwähnen (52). Des Weiteren wird nur ein kleiner Ausschnitt des Körpers zweidimensional dargestellt, während umliegende Strukturen schlechter erfasst werden (79). Dies kann mitunter zu einer Fehleinschätzung des Ausmaßes der Läsion führen (80).

Die CTA erlaubt die exakte Darstellung des Aneurysmas in Längs- und Querausdehnung und ermöglicht so eine genau Berechnung des Durchmessers und des Volumens (12). Jedoch ist auch die CTA in ihrer Anwendung limitiert. Neben den hohen Kosten spielen die Nephrotoxizität des KM sowie allergische Reaktionen eine große Rolle (11, 33). Außerdem werden hierbei Endoleaks über die Morphologie und weniger über die dynamische Darstellung des Blutflusses detektiert, was dazu führt, dass nicht immer der genaue Ursprung der Endoleaks erkannt werden kann (81). Ebenso ist die durch die Strahlung bedingte kanzerogene Wirkung keineswegs zu vernachlässigen, weshalb in der Anwendung unbedingt darauf geachtet werden muss die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten (82).

## 5.7 Verlaufskontrolle nach EVAR

Da als häufigste Komplikation nach EVAR Endoleaks auftreten können, ist eine lebenslängliche Kontrolle obligat. Neben der Detektion der Endoleckagen ist ebenso die richtige Klassifikation wichtig, um eine entsprechende Therapie einzuleiten (83).

Hicks et al. betonen, dass die Patienten unbedingt auf ein zwar geringes, aber dennoch lebenslang bestehendes Rupturrisiko hingewiesen werden sollten. Sie konnten in einer Studie der Jahre 2003 bis 2015 zeigen, dass der Verzicht auf Kontrolluntersuchungen nach EVAR mit einer erhöhten 5-Jahressterblichkeit einhergeht (84). Garg et al. beobachteten eine Gruppe von Patienten, die nach EVAR keine regelmäßigen Kontrolluntersuchungen erhielten. Sie konnten allerdings keinen Einfluss der Überwachung auf das Langzeitüberleben feststellen (85). Auch Nordon et al. überprüften in einer Metaanalyse, ob Überwachungen des Stentgrafts im Hinblick auf Reinterventionen notwendig seien. Dabei fiel auf, dass lediglich 3,7 % der US-amerikanischen Bevölkerung pro Jahr einer sekundären Intervention bedurften. Folglich vertraten sie die Ansicht, dass ein kompletter Verzicht auf Kontrolluntersuchungen nicht sinnvoll sei, dass diese sich jedoch hauptsächlich auf Patienten mit einem hohen Risiko für Komplikationen beschränken sollten (86).

Nach den neusten Richtlinien der DGG wird eine standardisierte Ultraschalluntersuchung nach EVAR empfohlen, welche durch das durchführende Gefäßzentrum organisiert werden sollte (5). Pfister et al. beschreiben ein Nachsorgeschema, das insbesondere vom Aneurysmadurchmesser abhängig ist. Direkt postoperativ kann eine Kontrolle mittels FKDS, CEUS, Röntgen oder CTA durchgeführt werden. Zeigt sich der Gefäßdurchmesser bei einer Kontrolle durch FKDS nach 6 Monaten verkleinert, so ist eine erneute Kontrolle erst nach einem Jahr indiziert. Ist der Aneurysmadurchmesser unverändert, so reicht eine weitere Untersuchung mittels CEUS oder Röntgen aus. Bei vergrößertem Durchmesser kann allerdings auch der Einsatz einer CTA erwogen werden und bei Detektion eines Endoleaks sollte je nach Typ der Leckage eine Therapie eingeleitet werden. Ein bis zwei Jahre nach Intervention schlagen die Autoren die Durchführung einer CTA vor, bei eingeschränkter Nierenfunktion kann eine native Untersuchung erwogen werden (87).

Moll et al. führen in der Leitlinie der ESVS (European Society for Vascular Surgery) ein Nachsorgeschema an, das 30 Tage nach dem Eingriff eine CTA und eine Abdomenleeraufnahme vorsieht und dann je nach Vorliegen eines Endoleaks patientenspezifisch durch CT (mit oder ohne KM), Abdomenleeraufnahme und Duplexsonographie alleine oder in Kombination in verschiedenen Abständen ergänzt werden sollte (88).

Chaikof et al. und auch Karanikola et al. empfehlen die Untersuchung insbesondere durch Duplexultraschall und CT (89).

Tomlinson et al. hingegen kamen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass Aneurysmen, die im ersten Jahr nach Stenteinbau entweder größenkonstant oder –regredient waren, als unproblematisch anzusehen sind und keine weiteren Kontrollen mittels CT benötigen, da die Kontrollen mit Ultraschall bzw. klinischer Untersuchung ausreichend seien (90). Auch Bargellini et al. waren der Meinung, dass CT-Untersuchungen nur bei Patienten mit wachsendem oder gleichbleibendem Aneurysmadurchmesser Anwendung finden sollten (91). In einer weiteren Studie kamen Dias et al. zu der Ansicht, dass weniger als 10 % der Patienten von jährlichen CT-Untersuchungen profitieren würden, bei denen asymptomatische reinterventionsbedürftige Komplikationen vorlagen. Demnach seien die Kontrolluntersuchungen in größeren Zeitabständen durchzuführen, was außerdem zu einer Kostenersparnis und Strahlenreduktion führe (92).

Verhoeven et al. fanden in ihrer Studie heraus, dass die meisten Endoleaks, die durch CEUS und Farbduplexuntersuchung nicht detektiert wurden, solche vom Typ II waren, die allerdings häufig nicht therapiebedürftig sind. Eine Kombination aus Abdomenübersichtsaufnahme, insbesondere zur Beurteilung von Stentmigration und –fraktur, CEUS und FKDS seien zum Follow-Up ausreichend. CTA sollte nur bei unklarem Ultraschall, Komplikationen oder schwierigen anatomischen Gegebenheiten durchgeführt werden (93). Auch Beeman et al. gelangten zu der Ansicht, dass die Untersuchung mittels Farbduplex bezüglich der Messung von Aneurysmadurchmesser und der Detektion von Endoleaks gegenüber der CT gleichgestellt sei. Der alleinige Gebrauch von Duplexultraschall in den Kontrolluntersuchungen würde außerdem zu einer hohen Kostenersparnis führen (94). Bei Patienten mit gleichbleibendem oder schrumpfendem Aneurysmasack schlugen Chaer et al. ebenfalls FKDS als alleiniges bildgebendes Kontrollinstrument nach EVAR vor (95).

Napoli et al. hoben insbesondere den Nutzen von CEUS im Rahmen des Follow-Ups hervor, da dieses eine geeignete Methode sei, um Endoleaks zu entdecken, besonders wenn die Detektion durch andere Modalitäten nicht möglich ist (96).

Laut den Richtlinien des EFSUMB soll CEUS für die Kontrolle von Endoleaks nach EVAR verwendet werden, da es diese besser als CTA identifizieren und charakterisieren könne. CEUS sei CTA insofern überlegen, da sowohl die Geschwindigkeit als auch die Richtung des Blutflusses hierbei erfasst würden (97, 98). Auch Gürtler et al. führten eine retrospektive Untersuchung an 171 Patienten nach EVAR durch. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass ein Wechsel von MS-CT auf CEUS in den Kontrolluntersuchungen zu erwägen sei (7).

Aufgrund einiger vielversprechender Studienergebnisse wird CEUS neben der CTA auch am Universitätsklinikum Großhadern in der Verlaufskontrolle nach EVAR eingesetzt. Ziel ist es patientenspezifische Untersuchungsprotokolle unter Einbezug weiterer Methoden ins Follow-Up zu integrieren.

Es lässt sich erkennen, dass auch die MRT eine wertvolle Methode im Rahmen der Kontrolluntersuchungen darstellt. 29 Patienten, welche nach EVAR unklare CT-Befunde bei Aneurysmawachstum zeigten, wurden von Habets et al. in eine Studie eingeschlossen, in der MR-Messungen 5 und 15 Minuten nach Kontrastmittelinjektion durchgeführt wurden. Bei 83 % der Patienten konnte ein Endoleak nachgewiesen werden, was die Autoren zu dem Schluss führte, dass die MRT sowohl für den Nachweis als auch für die genaue Klassifikation der Endoleaks geeignet sei (99). In einer systematischen Literaturrecherche kamen sie sogar zu der Ansicht, dass die Untersuchung mittels MRT bezüglich der Detektion von Endoleaks, insbesondere von Typ-II-Endoleaks, sensitiver als CTA war (100). Resta et al. führten MR-angiographische Untersuchungen an 23 Patienten ohne Einsatz von KM durch (sog. True-Fisp-MR-Sequenz), wobei bei 43 % der Patienten ein Endoleak nachweisbar war. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass dieses Verfahren eine große Rolle im Rahmen der Nachsorge sowohl durch die fehlende Strahlenbelastung als auch durch den Verzicht von bei Niereninsuffizienz kontraindiziertem KM spielen könne (101).

## **5.8 Limitationen**

Diese Studie weist Limitationen auf, aufgrund derer die Ergebnisse in einigen Punkten kritisch zu betrachten sind.

### **5.8.1 Untersucherabhängigkeit**

Im Allgemeinen ist die Untersuchung mit CEUS stark untersucherabhängig und eine potentielle Fehlerquelle. In dieser Studie wurden die Untersuchungen immer durch einen Untersucher der DEGUM Stufe-III durchgeführt, welcher im Follow-Up gezielt nach Endoleaks schaute. Dadurch sollten sowohl Fehler durch verschiedene Herangehensweisen als auch Einschränkungen durch mangelnde Erfahrung auf diesem Gebiet bei der Befundung durch CEUS gering gehalten werden.

### **5.8.2 Patienten**

Die Qualität des Follow-Ups war stark abhängig von der Compliance der Patienten. Nur wenn die Patienten regelmäßig zur Kontrolle erschienen und dazu bereit waren, sich beiden Untersuchungsmodalitäten zu unterziehen, konnten vergleichende Untersuchungen angefertigt werden.

Zudem stellte die fehlerhafte Positionierung der Patienten sowohl in der CT-Diagnostik als auch beim CEUS eine weitere mögliche Fehlerquelle dar, da ein verkipptes Bild zu unterschiedlichen Messergebnissen führte.

Bei der CEUS war die Befundung zudem stark abhängig von der Konstitution der Patienten. So führten Meteorismus, Aszites oder Adipositas zu einer eingeschränkten Darstellung der Aorta. Durch stark kalzifizierte Gefäße oder Schallreflektion an bestimmten Prothesentypen war ebenso keine einwandfreie Beurteilung möglich.

Auf der anderen Seite führten das Vorliegen einer Kontrastmittelallergie, eine eingeschränkte Nierenfunktion oder Störungen im Schilddrüsenstoffwechsel dazu, dass einige CT-Untersuchungen ohne Kontrastmittelgabe durchgeführt werden mussten und keinen Eingang in die Studie fanden.

### **5.8.3 Untersuchungsprotokoll**

Die wohl größte Limitation dieser Arbeit stellt das Fehlen eines standardisierten Untersuchungsprotokolls dar.

Dies führte dazu, dass zeitnahe Vergleiche der Untersuchungsmodalitäten nicht immer möglich waren und so insgesamt deutlich weniger Vergleichspaare als Gesamtuntersuchungen zusammengetragen werden konnten.

Außerdem fanden einige Untersuchungen aufgrund fehlender Informationen beispielsweise über die Aneurysmagröße oder fehlende Aussagen über Endoleaks in der Datenanalyse keinen Platz.

Des Weiteren führten unregelmäßige Untersuchungsabstände zur eingeschränkten Vergleichbarkeit in der Verlaufsbeobachtung. Insbesondere war die Beurteilung von Zusammenhängen zwischen Art der Endoleaks und der Aneurysmagröße dadurch limitiert.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass bei einigen CT-Aufnahmen aufgrund der Fragestellung nicht gezielt nach Endoleaks geschaut und diese möglicherweise übersehen werden konnten. Aufgrund dessen könnten sich beim direkten Vergleich von CEUS und CT erhebliche Unterschiede zwischen den Untersuchungsergebnissen der verschiedenen Untersuchungsmodalitäten ergeben haben, was auch die hohe Rate falsch positiver Ergebnisse erklären würde.

## **5.9 Ausblick**

Abschließend lässt sich sagen, dass CEUS aufgrund des geringeren Nebenwirkungsprofils über einen großen Vorteil gegenüber der CTA verfügt (1, 6). Entsprechend der Ergebnisse dieser Arbeit bestehen allerdings noch Einschränkungen in der Anwendung. Demnach lässt sich die CT also nicht komplett durch CEUS ersetzen, sollte aber unbedingt mit dieser Methode kombiniert werden. Dies wäre z.B. anhand abwechselnder Kontrolluntersuchungen oder aber auch durch die Bildfusion beider Verfahren möglich. Grundsätzlich wäre die Anwendung von individuell angefertigten Patientenschemata sinnvoll, die anhand prädiktiver Faktoren erstellt werden können.

Trotz einiger Limitationen lassen die Ergebnisse dieser Arbeit vielversprechende Möglichkeiten erahnen und sollten als Grundlage für weitere, bestenfalls prospektiv angelegte Forschungen dienen.

## 6 Zusammenfassung

Aufgrund der sekundären Rupturgefahr durch Endoleaks nach EVAR ist eine effiziente Diagnostik im Follow-Up zur Planung und Durchführung einer sich anschließenden Therapie essentiell. Als alternative Untersuchungsmethode zur CTA, welche allgemein als Goldstandard akzeptiert ist, jedoch aufgrund des Nebenwirkungsprofils gewisse Limitierungen aufweist, wurde in dieser retrospektiven Arbeit die diagnostische Genauigkeit von CEUS im Rahmen des Follow-Ups nach EVAR untersucht.

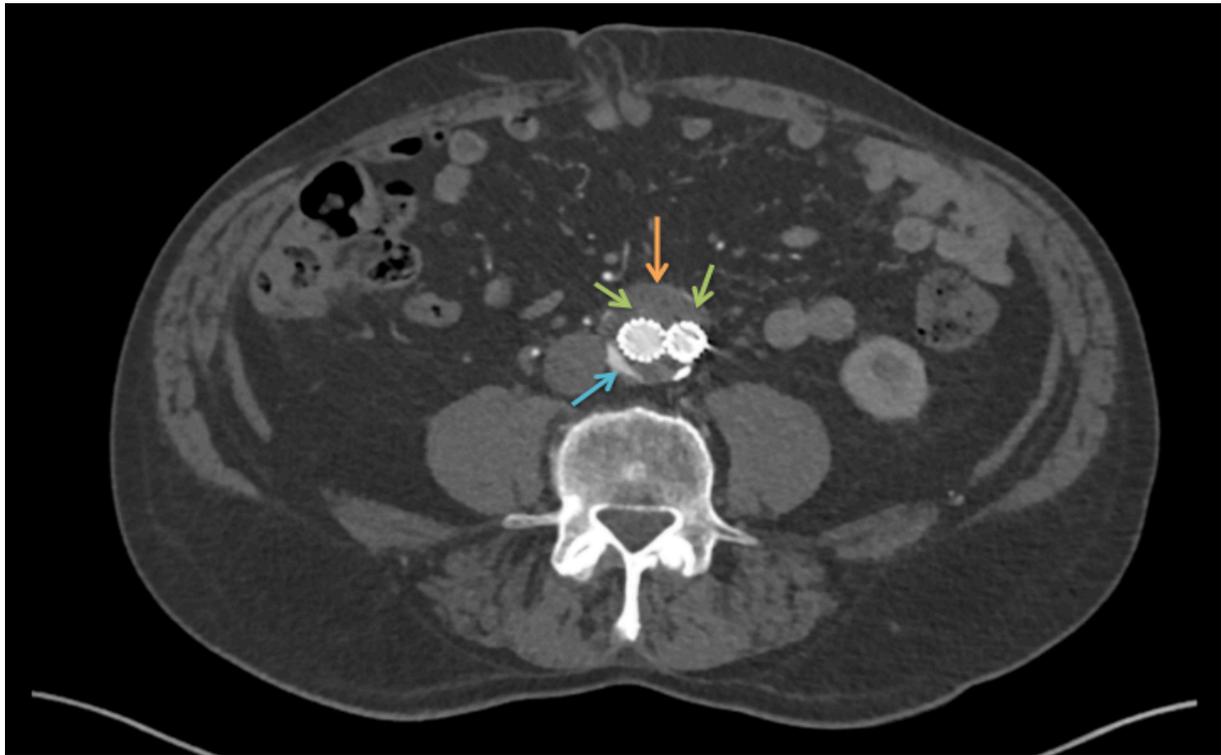
In der vorliegenden Studie wurden Daten von insgesamt 241 Patienten erhoben, die Kontrolluntersuchungen nach endovaskulärer Stentimplantation bei AAA an der Klinik und Poliklinik für Radiologie des Klinikums Großhadern erhielten. Es wurden 1095 Untersuchungen aus dem Zeitraum von Januar 2005 bis Oktober 2017 ermittelt, die mit CEUS durchgeführt wurden, von denen wiederum 300 mit zeitlich zusammenhängenden CT-Untersuchungen verglichen wurden.

Beim Vergleich von CEUS und CT konnte eine hohe Sensitivität bezüglich der Detektion von Endoleaks ermittelt werden, allerdings ergab sich durch die verhältnismäßig hohe Anzahl falsch positiver Ergebnisse keine zufriedenstellende Spezifität. Cohens Kappa zeigte eine moderate Übereinstimmung beider Untersuchungsmethoden, wohingegen im McNemar-Test keine signifikante Übereinstimmung der Ergebnisse gezeigt werden konnte. CEUS erfährt in der klinischen Anwendung also noch einige Limitationen, wobei abschließend nicht sicher gesagt werden kann, ob die Methode selbst oder viel mehr das nicht einheitliche Untersuchungsprotokoll zu Einschränkungen geführt hat.

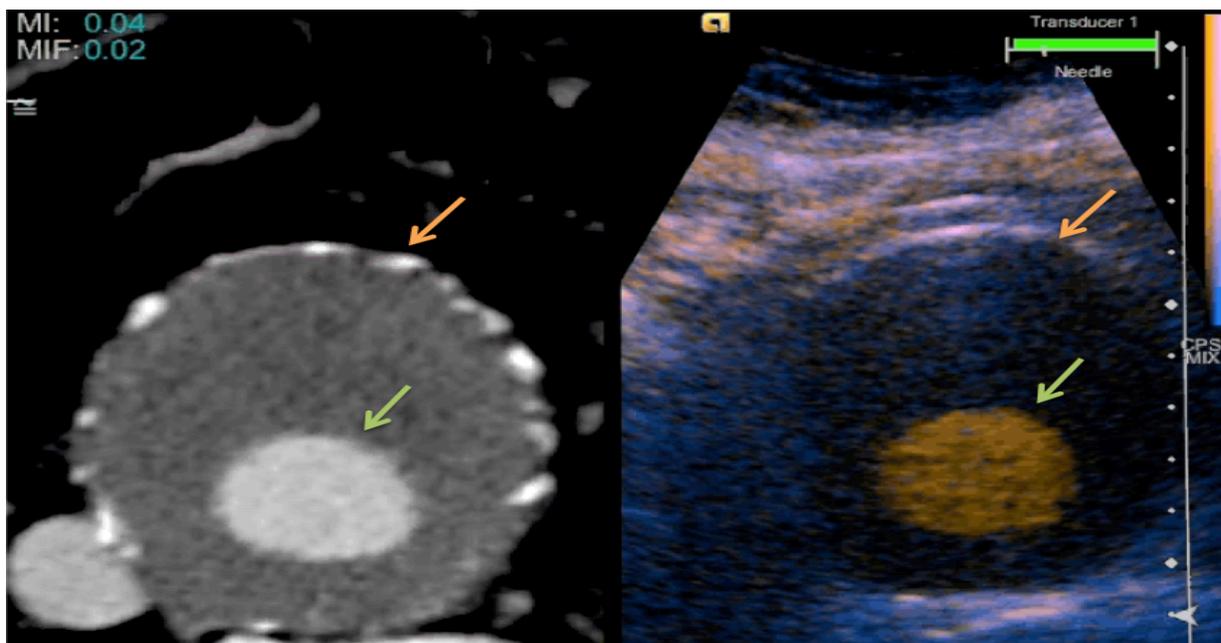
Darüber hinaus stellte die Verlaufsuntersuchung der Endoleaks und Aneurysmagröße einen weiteren Bestandteil dieser Arbeit dar. Es konnten signifikante Unterschiede zwischen der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen gezeigt werden, was zukünftig auf die Erstellung individueller Nachsorgeschemata Einfluss nehmen könnte. Bezüglich des Aneurysmawachstums konnte hingegen kein Zusammenhang mit der Endoleakklassifikation hergestellt werden. Hinsichtlich des Größenverhaltens wurden allerdings in weiteren Studien sämtliche einflussnehmende Faktoren untersucht, die es in einer weiteren Untersuchung zu überprüfen gilt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse dieser Arbeit weitreichende und vielversprechende Möglichkeiten erahnen lassen. CEUS kann die CT zwar nicht ersetzen, jedoch sollte diese Methode entsprechend ihrer Vorteile im Follow-Up nach EVAR ergänzend eingesetzt und mit der CT kombiniert werden. In weiteren prospektiven Studien sollte auf die Erkenntnisse dieser Arbeit aufgebaut werden.

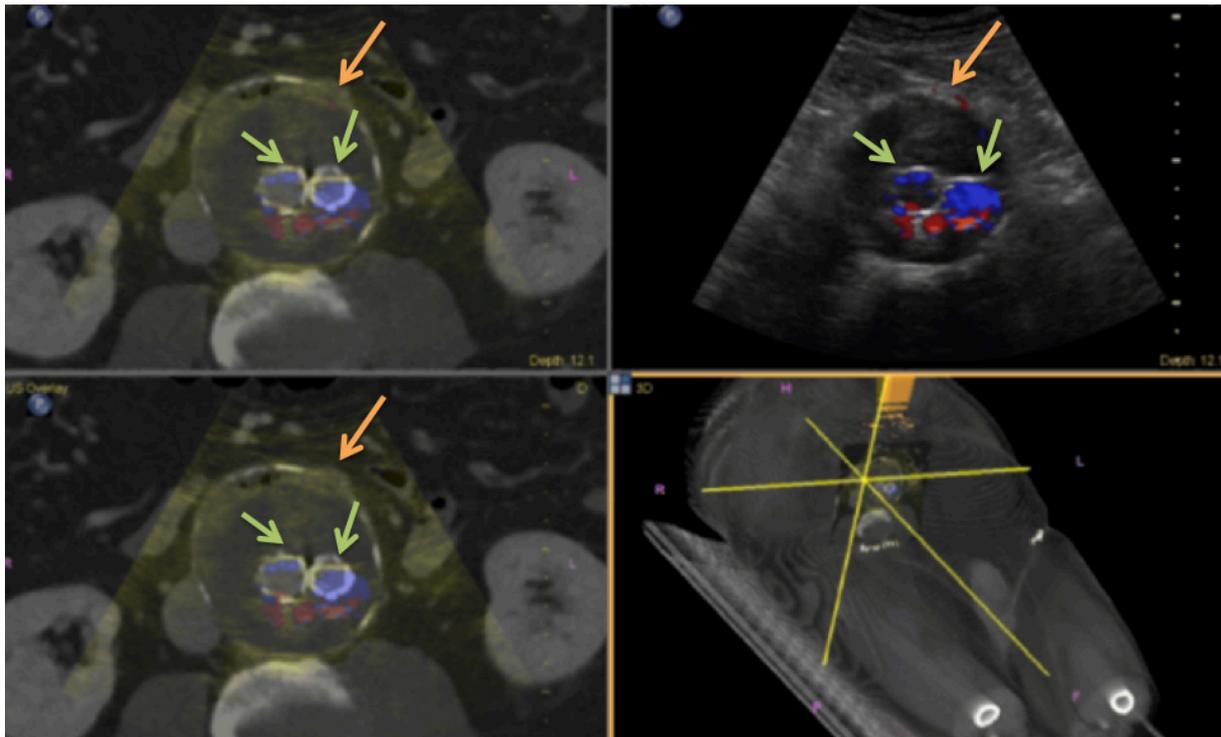
## 7 Anhang



**Abb. 26:** Axiale Darstellung eines Typ-IIb-Endoleaks in der CTA. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), die perfundierten Iliakalschenkel (grüne Pfeile) sowie ein Endoleak Typ IIb (blauer Pfeil).



**Abb. 27:** Axiale Darstellung einer CT/CEUS-Bildfusion. Die orangenen Pfeile zeigen auf den Aneurysmasack, die grünen Pfeile zeigen auf das perfundierte Stentlumen.



**Abb. 28:** Axiale Darstellung einer CT/FKDS-Bildfusion. Die orangenen Pfeile zeigen auf den Aneurysmasack, die grünen Pfeile zeigen auf das perfundierte Stentlumen. Rechts unten ist die Kalibrierung beider Verfahren dargestellt.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Figueiredo G, Müller-Peltzer K, Schwarze V, Rübenthaler J, Clevert DA. Ultrasound and contrast enhanced ultrasound imaging in the diagnosis of acute aortic pathologies. *Vasa*. 2019;48(1):17-22.
2. Rübenthaler J, Reiser M, Clevert DA. Diagnostic vascular ultrasonography with the help of color Doppler and contrast-enhanced ultrasonography. *Ultrasonography* 2016;35(4):289-301.
3. Debus ES, Kölbel T, Böckler D, Eckstein HH. Abdominelle Aortenaneurysmen. *Gefässchirurgie*. 2010;15(3):154-68.
4. Gschwendtner M. Endovaskuläre Therapie der abdominalen Aorta. *Wiener klinisches Magazin*. 2014;17(1):10-21.
5. Debus ES, Heidemann F, Gross-Fengels W, Mahlmann A, Muhl E, Pfister K, et al. Kurzfassung S3-Leitlinie zu Screening, Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Bauchaortenaneurysmas. *Gefässchirurgie*. 2018;23(6):432-51.
6. Rübenthaler J, Zimmermann H, Armbruster M, Müller-Peltzer K, Bogner F, Reiser M, et al. Contrast-Enhanced Ultrasound in the Follow-Up of Endoleaks after Endovascular Aortic Repair (EVAR). *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany : 1980)*. 2017;38(3):244-64.
7. Gürtler VM, Sommer WH, Meimarakis G, Kopp R, Weidenhagen R, Reiser MF, et al. A comparison between contrast-enhanced ultrasound imaging and multislice computed tomography in detecting and classifying endoleaks in the follow-up after endovascular aneurysm repair. *Journal of vascular surgery*. 2013;58(2):340-5.
8. Zimmermann H, D'Anastasi M, Rjosk-Dendorfer D, Helck A, Meimarakis G, Reiser M, et al. Value of high-resolution contrast-enhanced ultrasound in detection and characterisation of endoleaks after EVAR. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2014;58(1):247-60.
9. Rübenthaler J, Reiser M, Cantisani V, Rjosk-Dendorfer D, Clevert DA. The value of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) using a high-end ultrasound system in the characterization of endoleaks after endovascular aortic repair (EVAR). *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2017;66(4):283-92.
10. Wanhainen A, et al., European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.09.020>.
11. Harky A, Zywicka E, Santoro G, Jullian L, Joshi M, Dimitri S. Is contrast-enhanced ultrasound (CEUS) superior to computed tomography angiography (CTA) in detection of endoleaks in post-EVAR patients? A systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound*. 2019;22(1):65-75.
12. Torsello G, Can A, Schumacher S. Das Bauchaortenaneurysma. *Gefässchirurgie*. 2005;10(2):139-53.
13. Gross-Fengels W, Daum H, Siemens P, Heuser L, Wagenhofer KU. Die interventionelle/endovaskuläre Therapie des infrarenalen abdominalen Aortenaneurysmas. *Der Radiologe*. 2013;53(6):503-12.
14. Diehm N. Infrarenales Aortenaneurysma. *Der Internist*. 2009;50(8):972-8.

15. Rückert RI, Hanack U, Aronés-Gomez S, Yousefi S. Aneurysmen der Bauchaorta und der Beckenarterien. *Der Chirurg*. 2014;85(9):782-90.
16. Kortmann H, Bauchortenaneurysmen in *Kompaktwissen Gefässchirurgie: Differenzierte Diagnostik und Therapie*, Luther B. (Hrsg), Springer Verlag, Heidelberg (2011) 211 ff.
17. Heider P, Wolf O, Reeps C, Hanke M, Zimmermann A, Berger H, et al. Aneurysmen und Dissektionen der thorakalen und abdominalen Aorta. *Der Chirurg*. 2007;78(7):600-10.
18. Busch A, Simon F, Schimpf C, Menges A-L, Zimmermann A, Eckstein HH, et al. Die Pathophysiologie des abdominalen Aortenaneurysmas. *Gefässchirurgie*. 2018;23(3):130-5.
19. Clevert DA, Horng A, Reiser MF. Ultraschallbildgebung der Aorta abdominalis. *Der Radiologe*. 2009;49(11):1024.
20. Clevert DA, Schick K, Chen MH, Zhu QL, Reiser M. Role of contrast enhanced ultrasound in detection of abdominal aortic abnormalities in comparison with multislice computed tomography. *Chinese medical journal*. 2009;122(7):858-64.
21. Kortmann H, *Aorta abdominalis in Techniken der offenen Gefäßchirurgie: Standards, Taktiken, Tricks*, Luther B. (Hrsg), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (2014) 153-198.
22. Kappert U, Ghazy T, Matschke K. Chirurgie der Aorta ascendens und des Aortenbogens. *Der Internist*. 2013;54(5):552-60.
23. Bünger CM, Knop A, Kische S, Ince H. Aortendissektion Typ B – Definitionen, Inzidenz, Ätiologie. *Gefässchirurgie*. 2015;20(6):415-9.
24. Pfeiffer T, Sandmann W. Infrarenales Aortenaneurysma. *Der Chirurg*. 2003;74(5):482-97.
25. Horng A, Reiser M, Clevert DA. Aktuelle Entwicklungen in der vaskulären Sonographie. *Der Radiologe*. 2009;49(11):998.
26. Wagner M, Voshage G, Busch T, Landwehr P. Infrarenales Bauchortenaneurysma. *Der Radiologe*. 2008;48(9):881-98.
27. Horng A, Reiser MF, Clevert DA. Moderne Sonographie zur Diagnostik des akuten Abdomens. *Der Radiologe*. 2010;50(3):214-25.
28. Hugel U, Schmidli J, Baumgartner I, Thalhammer C. [Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) for Surveillance after Endovascular Aortic Aneurysm Repair (EVAR)]. *Praxis*. 2018;107(22):1219-23.
29. Clevert DA, Horng A, Kopp R, Schick K, Meimarakis G, Sommer WH, et al. Kontrastmittelverstärkter Ultraschall im Follow-up nach endovaskulärer Stentversorgung eines infrarenalen Bauchortenaneurysmas. *Der Radiologe*. 2009;49(11):1033.
30. Reimer P, Vosschenrich R, Storck M. Akute Aortenerkrankungen. *Der Radiologe*. 2015;55(9):803-16.
31. Strobl FF, Sommer WH, Haack M, Nikolaou K, Meimarakis G, Koeppel TA, et al. CT-Angiographie als Grundlage der optimierten Therapieplanung vor endovaskulärer Aneurysmaausschaltung (EVAR). *Der Radiologe*. 2013;53(6):495-502.
32. Chung J, Kordzadeh A, Prionidis I, Panayiotopoulos Y, Browne T. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) versus computed tomography angiography (CTA) in detection of endoleaks in post-EVAR patients. Are delayed type II endoleaks being missed? A systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound*. 2015;18(2):91-9.

33. Stefaniak K, Stanisic M, Gabriel M, Oszkinis G. Diagnostic imaging methods applied in long-term surveillance after EVAR. Will computed tomography angiography be replaced by other methods? *Advances in interventional Cardiology/Postępy w Kardiologii Interwencyjnej*. 2016;12(1):6-12.
34. Iezzi R, Basilico R, Giancristofaro D, Pascali D, Cotroneo AR, Storto ML. Contrast-enhanced ultrasound versus color duplex ultrasound imaging in the follow-up of patients after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Journal of vascular surgery*. 2009;49(3):552-60.
35. Laks S, Macari M, Chandarana H. Dual-Energy Computed Tomography Imaging of the Aorta After Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysm. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 2010;31(4):292-300.
36. Moll FL, Powell JT, Fraedrich G, Verzini F, Haulon S, Waltham M, et al. Management of abdominal aortic aneurysms clinical practice guidelines of the European society for vascular surgery. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2011;41 (1):1-58.
37. Kan CD, Lee HL, Luo CY, Yang YJ. The efficacy of aortic stent grafts in the management of mycotic abdominal aortic aneurysm-institute case management with systemic literature comparison. *Annals of vascular surgery*. 2010;24(4):433-40.
38. Swerdlow NJ, Wu WW, Schermerhorn ML. Open and Endovascular Management of Aortic Aneurysms. *Circulation Research*. 2019;124(4):647-61.
39. Ma B, Wang YN, Chen KY, Zhang Y, Pan H, Yang K. Transperitoneal versus retroperitoneal approach for elective open abdominal aortic aneurysm repair. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2016;2: Cd010373.
40. Twine CP, Humphreys AK, Williams IM. Systematic review and meta-analysis of the retroperitoneal versus the transperitoneal approach to the abdominal aorta. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2013;46(1):36-47.
41. Jerkku T. Aortenaneurysma: fenestrierte/gebranchte abdominale EVAR (fbEVAR) und fenestrierte/gebranchte thorakale EVAR (fbTEVAR). Ist die komplette endovaskuläre Therapie schon da? *Zentralblatt für Chirurgie*. 2020;145.
42. Stavropoulos SW, Charagundla SR. Imaging techniques for detection and management of endoleaks after endovascular aortic aneurysm repair. *Radiology*. 2007;243(3):641-55.
43. Tsilimparis N, Heidemann F, Rohlfes F, Diener H, Wipper S, Debus E, et al. Outcome of Surgeon-Modified Fenestrated/Branched Stent-Grafts for Symptomatic Complex Aortic Pathologies or Contained Rupture. *Journal of endovascular therapy : an official journal of the International Society of Endovascular Specialists*. 2017;24:1526602817729673.
44. Zimmermann H, Rübenthaler J, Rjosk-Dendorfer D, Helck A, Reimann R, Reiser M, et al. Comparison of portable ultrasound system and high end ultrasound system in detection of endoleaks. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2015;63(2):99-111.
45. Dudeck O. Endoleaks – wann behandeln? *Der Radiologe*. 2013;53(6):526-30.

46. Clevert DA, Horng A, Kopp R, Schick K, Meimarakis G, Sommer WH, et al. Imaging of endoleaks after endovascular aneurysm repair (EVAR) with contrast-enhanced ultrasound (CEUS). *Radiologe*. 2009;49(11):1033-9.
47. Chen J, Stavropoulos SW. Management of Endoleaks. *Seminars in interventional radiology*. 2015;32(3):259-64.
48. Rand T, Uberoi R, Cil B, Munneke G, Tsetis D. Quality improvement guidelines for imaging detection and treatment of endoleaks following endovascular aneurysm repair (EVAR). *Cardiovascular and interventional radiology*. 2013;36(1):35-45.
49. Debus ES, Heidemann F, Gross-Fengels W et al (2018) S3-Leitlinie zu Screening, Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Bauchaortenaneurysmas. [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/004-014l\\_\\_S3\\_Bauchaortenaneurysma\\_2018-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/004-014l__S3_Bauchaortenaneurysma_2018-08.pdf) Zugegriffen: 23.01.2021.
50. Jones JE, Atkins MD, Brewster DC, Chung TK, Kwolek CJ, LaMuraglia GM, et al. Persistent type 2 endoleak after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm is associated with adverse late outcomes. *Journal of vascular surgery*. 2007;46(1):1-8.
51. Karanikola E, Dalainas I, Karaolani G, Zografos G, Filis K. Duplex Ultrasound versus Computed Tomography for the Postoperative Follow-Up of Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair. Where Do We Stand Now? *The International journal of angiology : official publication of the International College of Angiology, Inc.* 2014;23(3):155-64.
52. Kopp R, Weckbach S, Minaifar N, Meimarakis G, Weidenhagen R, Clevert DA. Verlaufskontrolle nach endovaskulärer Therapie des infrarenalen Aortenaneurysmas. *Gefäßchirurgie*. 2008;13(6):410-6.
53. Brown LC, Greenhalgh RM, Kwong GP, Powell JT, Thompson SG, Wyatt MG. Secondary interventions and mortality following endovascular aortic aneurysm repair: device-specific results from the UK EVAR trials. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2007;34(3):281-90.
54. Hiatt MD, Rubin GD. Surveillance for endoleaks: how to detect all of them. *Seminars in vascular surgery*. 2004;17(4):268-78.
55. Ouriel K, Clair DG, Greenberg RK, Lyden SP, O'Hara PJ, Sarac TP, et al. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysms: device-specific outcome. *Journal of vascular surgery*. 2003;37(5):991-8.
56. Pfister K, Krammer S, Janotta M, Jung EM, Kasprzak P. Welche Nachkontrolle ist bei endovaskulärer Versorgung von abdominellen Aortenaneurysmen empfehlenswert? *Zentralblatt für Chirurgie*. 2010;135(05):409-15.
57. Iezzi R, Basilico R, Giancristofaro D, Pascali D, Cotroneo AR, Storto ML. Contrast-enhanced ultrasound versus color duplex ultrasound imaging in the follow-up of patients after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Journal of vascular surgery*. 2009;49(3):552-60.
58. Ten Bosch JA, Rouwet EV, Peters CT, Jansen L, Verhagen HJ, Prins MH, et al. Contrast-enhanced ultrasound versus computed tomographic angiography for surveillance of

- endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Journal of vascular and interventional radiology : JVIR*. 2010;21(5):638-43.
59. Cantisani V, Ricci P, Grazhdani H, Napoli A, Fanelli F, Catalano C, et al. Prospective comparative analysis of colour-Doppler ultrasound, contrast-enhanced ultrasound, computed tomography and magnetic resonance in detecting endoleak after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2011;41(2):186-92.
  60. Schmieder GC, Stout CL, Stokes GK, Parent FN, Panneton JM. Endoleak after endovascular aneurysm repair: duplex ultrasound imaging is better than computed tomography at determining the need for intervention. *Journal of vascular surgery*. 2009;50(5):1012-7; discussion 7-8.
  61. Gürtler VM. Kontrastmittelverstärkter Ultraschall zur Detektion von Endoleaks im Follow-up nach endovaskulärer Stentversorgung des infrarenalen Bauchaortenaneurysmas.: Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät 2013.
  62. Clevert DA, Helck A, D'Anastasi M, Gürtler VM, Sommer WH, Meimarakis G, et al. Improving the follow up after EVAR by using ultrasound image fusion of CEUS and MS-CT. *Clinical hemorheology and microcirculation*. 2011;49(1-4):91-104.
  63. Perini P, Sediri I, Midulla M, Delsart P, Mouton S, Gautier C, et al. Single-centre prospective comparison between contrast-enhanced ultrasound and computed tomography angiography after EVAR. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2011;42(6):797-802.
  64. Mirza TA, Karthikesalingam A, Jackson D, Walsh SR, Holt PJ, Hayes PD, et al. Duplex ultrasound and contrast-enhanced ultrasound versus computed tomography for the detection of endoleak after EVAR: systematic review and bivariate meta-analysis. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2010;39(4):418-28.
  65. Gummadi S, Eisenbrey JR, Lyshchik A. A Narrative Review on Contrast-Enhanced Ultrasound in Aortic Endograft Endoleak Surveillance. *Ultrasound quarterly*. 2018;34(3):170-5.
  66. Karthikesalingam A, Al-Jundi W, Jackson D, Boyle JR, Beard JD, Holt PJ, et al. Systematic review and meta-analysis of duplex ultrasonography, contrast-enhanced ultrasonography or computed tomography for surveillance after endovascular aneurysm repair. *The British journal of surgery*. 2012;99(11):1514-23.
  67. Guo Q, Zhao J, Huang B, Yuan D, Yang Y, Zeng G, et al. A Systematic Review of Ultrasound or Magnetic Resonance Imaging Compared With Computed Tomography for Endoleak Detection and Aneurysm Diameter Measurement After Endovascular Aneurysm Repair. *Journal of endovascular therapy : an official journal of the International Society of Endovascular Specialists*. 2016;23(6):936-43.
  68. Lowe C, Abbas A, Rogers S, Smith L, Ghosh J, McCollum C. Three-dimensional contrast-enhanced ultrasound improves endoleak detection and classification after endovascular aneurysm repair. *Journal of vascular surgery*. 2017;65(5):1453-9.

69. Gabriel M, Tomczak J, Snoch-Ziólkiewicz M, Dzieciuchowicz Ł, Strauss E, Pawlaczyk K, et al. Superb Micro-vascular Imaging (SMI): a Doppler ultrasound technique with potential to identify, classify, and follow up endoleaks in patients after Endovascular Aneurysm Repair (EVAR). *Abdominal radiology (New York)*. 2018;43(12):3479-86.
70. Jung EM, Rennert J, Fellner C, Uller W, Jung W, Schreyer A, et al. Detection and characterization of endoleaks following endovascular treatment of abdominal aortic aneurysms using contrast harmonic imaging (CHI) with quantitative perfusion analysis (TIC) compared to CT angiography (CTA). *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany : 1980)*. 2010;31(6):564-70.
71. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.
72. Schmitz-Rixen T, Keese M, Hakimi M, Peters A, Böckler D, Nelson K, et al. Ruptured abdominal aortic aneurysm-epidemiology, predisposing factors, and biology. *Langenbeck's archives of surgery*. 2016;401(3):275-88.
73. Hao YX, Wang KF, Wang GR, Fang Y, Wang ZW, Xue HD, et al. [Relationship between Aneurysm Volumetric Changes and Endoleaks after Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair]. *Zhongguo yi xue ke xue yuan xue bao Acta Academiae Medicinae Sinicae*. 2020;42(1):67-72.
74. Schanzer A, Greenberg RK, Hevelone N, Robinson WP, Eslami MH, Goldberg RJ, et al. Predictors of abdominal aortic aneurysm sac enlargement after endovascular repair. *Circulation*. 2011;123(24):2848-55.
75. Soler RJ, Bartoli MA, Mancini J, Lerussi G, Thevenin B, Sarlon-Bartoli G, et al. Aneurysm sac shrinkage after endovascular repair: predictive factors and long-term follow-up. *Annals of vascular surgery*. 2015;29(4):770-9.
76. Rašiová M, Koščo M, Špak L, Moščovič M, Židzik J, Slabá E, et al. Higher preprocedural fibrinogen levels are associated with aneurysm sac regression after EVAR. *Vasa*. 2019;48(4):347-54.
77. Nishibe T, Dardik A, Koizumi J, Kano M, Akiyama S, Iwahashi T, et al. Simple renal cyst and its association with sac shrinkage after endovascular aneurysm repair for abdominal aortic aneurysms. *Journal of vascular surgery*. 2020;71(6):1890-8.
78. Lee JH, Park KH, Kwak SG. Changes in Neck Angle, Neck Length, Maximum Diameter, Maximum Area and Thrombus after Endovascular Aneurysm Repair. *Vascular specialist international*. 2020;36(2):82-8.
79. Rafailidis V, Partovi S, Dikkes A, Nakamoto DA, Azar N, Staub D. Evolving clinical applications of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in the abdominal aorta. *Cardiovascular diagnosis and therapy*. 2018;8(1):118-30.
80. Clevert DA, Schick K, Chen MH, Zhu QL, Reiser M. Role of contrast enhanced ultrasound in detection of abdominal aortic abnormalities in comparison with multislice computed tomography. *Chinese medical journal*. 2009;122(7):858-64.
81. Carrafiello G, Laganà D, Recaldini C, Mangini M, Bertolotti E, Caronno R, et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasound and computed tomography in classifying endoleaks after

- endovascular treatment of abdominal aorta aneurysms: preliminary experience. *Cardiovascular and interventional radiology*. 2006;29(6):969-74.
82. Zhou W. Radiation exposure of vascular surgery patients beyond endovascular procedures. *Journal of vascular surgery*. 2011;53(1):39-43.
83. Figueiredo GN, Müller-Peltzer K, Schwarze V, Rübenthaler J, Clevert DA. Ultrasound and contrast enhanced ultrasound imaging in the diagnosis of acute aortic pathologies. *Vasa*. 2018;48:1-6.
84. Hicks CW, Zarkowsky DS, Bostock IC, Stone DH, Black JH, 3rd, Eldrup-Jorgensen J, et al. Endovascular aneurysm repair patients who are lost to follow-up have worse outcomes. *Journal of vascular surgery*. 2017;65(6):1625-35.
85. Garg T, Baker LC, Mell MW. Postoperative Surveillance and Long-term Outcomes After Endovascular Aneurysm Repair Among Medicare Beneficiaries. *JAMA surgery*. 2015;150(10):957-63.
86. Nordon IM, Karthikesalingam A, Hinchliffe RJ, Holt PJ, Loftus IM, Thompson MM. Secondary interventions following endovascular aneurysm repair (EVAR) and the enduring value of graft surveillance. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2010;39(5):547-54.
87. Pfister K, Kasprzak PM, Apfelbeck H, Lunz S, Kopp R, Janotta M, et al. Kontrastmittelsonographie in der Gefäßmedizin. *Gefäßschirurgie*. 2015;20(6):465-76.
88. Moll FL, Powell JT, Fraedrich G, Verzini F, Haulon S, Waltham M, et al. Management of abdominal aortic aneurysms clinical practice guidelines of the European society for vascular surgery. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2011;41 (1):1-58.
89. Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *Journal of vascular surgery*. 2018;67(1):2-77.
90. Tomlinson J, McNamara J, Matloubieh J, Hart J, Singh MJ, Davies MG, et al. Intermediate follow-up after endovascular aneurysm repair: can we forgo CT scanning in certain patients? *Annals of vascular surgery*. 2007;21(6):663-70.
91. Bargellini I, Cioni R, Napoli V, Petruzzi P, Vignali C, Cicorelli A, et al. Ultrasonographic surveillance with selective CTA after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *Journal of endovascular therapy : an official journal of the International Society of Endovascular Specialists*. 2009;16(1):93-104.
92. Dias NV, Riva L, Ivancev K, Resch T, Sonesson B, Malina M. Is there a benefit of frequent CT follow-up after EVAR? *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2009;37(4):425-30.
93. Verhoeven EL, Oikonomou K, Ventin FC, Lerut P, Fernandes EFR, Mendes Pedro L. Is it time to eliminate CT after EVAR as routine follow-up? *The Journal of cardiovascular surgery*. 2011;52(2):193-8.
94. Beeman BR, Doctor LM, Doerr K, McAfee-Bennett S, Dougherty MJ, Calligaro KD. Duplex ultrasound imaging alone is sufficient for midterm endovascular aneurysm repair surveillance:

- a cost analysis study and prospective comparison with computed tomography scan. *Journal of vascular surgery*. 2009;50(5):1019-24.
95. Chaer RA, Gushchin A, Rhee R, Marone L, Cho JS, Leers S, et al. Duplex ultrasound as the sole long-term surveillance method post-endovascular aneurysm repair: a safe alternative for stable aneurysms. *Journal of vascular surgery*. 2009;49(4):845-9; discussion 9-50.
  96. Napoli V, Bargellini I, Sardella SG, Petruzzi P, Cioni R, Vignali C, et al. Abdominal aortic aneurysm: contrast-enhanced US for missed endoleaks after endoluminal repair. *Radiology*. 2004;233(1):217-25.
  97. Piscaglia F, Nolsøe C, Dietrich CF, Cosgrove DO, Gilja OH, Bachmann Nielsen M, et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Practice of Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS): update 2011 on non-hepatic applications. *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany : 1980)*. 2012;33(1):33-59.
  98. Sidhu PS, Cantisani V, Dietrich CF, Gilja OH, Saftoiu A, Bartels E, et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017 (Long Version). *Ultraschall in der Medizin (Stuttgart, Germany : 1980)*. 2018;39(2):2-44.
  99. Habets J, Zandvoort HJ, Moll FL, Bartels LW, Vonken EP, van Herwaarden JA, et al. Magnetic Resonance Imaging with a Weak Albumin Binding Contrast Agent can Reveal Additional Endoleaks in Patients with an Enlarging Aneurysm after EVAR. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2015;50(3):331-40.
  100. Habets J, Zandvoort HJ, Reitsma JB, Bartels LW, Moll FL, Leiner T, et al. Magnetic resonance imaging is more sensitive than computed tomography angiography for the detection of endoleaks after endovascular abdominal aortic aneurysm repair: a systematic review. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2013;45(4):340-50.
  101. Resta EC, Secchi F, Giardino A, Nardella VG, Di Leo G, Flor N, et al. Non-contrast MR imaging for detecting endoleak after abdominal endovascular aortic repair. *The international journal of cardiovascular imaging*. 2013;29(1):229-35.

## 9 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b>	Klassifikation des infrarenalen Bauchaortenaneurysmas nach Allenberg (adaptiert nach: Kortmann (21))	4
<b>Abb. 2:</b>	3D-CT-Rekonstruktion eines AAA nach EVAR	14
<b>Abb. 3:</b>	CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in sagittaler Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ Ia (blauer Pfeil).	15
<b>Abb. 4:</b>	CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in sagittaler Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ Ib (blauer Pfeil).	16
<b>Abb. 5:</b>	CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), die Iliakalschenkel des Stents (grüne Pfeile) sowie ein Endoleak Typ IIa mit Zufluss über eine Lumbalarterie (blauer Pfeil).	17
<b>Abb. 6:</b>	CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ III (blauer Pfeil).	18
<b>Abb. 7:</b>	CEUS eines endovaskulär versorgten AAA in axialer Darstellung. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), der perfundierte Stent (grüner Pfeil) sowie ein Endoleak Typ IV (blauer Pfeil).	19
<b>Abb. 8:</b>	Flowchart der Studie	25
<b>Abb. 9:</b>	Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 241, 121 x Endoleak, 116 x kein Endoleak, 4 x keine Aussage möglich)	32

<b>Abb. 10:</b>	Geschlechterverteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS. Chi-Quadrat-Test: $p = 0,536$ (unter Ausschluss der Patienten, bei denen keine sichere Aussage über das Vorliegen eines Endoleaks getroffen werden konnte)	32
<b>Abb. 11:</b>	Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 121)	33
<b>Abb. 12:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung im Follow-Up nach EVAR durch CEUS (n = 173)	34
<b>Abb. 13:</b>	Zeitliche Einordnung der Endoleaktypen zum Zeitpunkt der letzten Verlaufskontrolle in einem Zeitraum von bis zu 72 Monaten. 23 Patienten wurden nicht in die Graphik aufgenommen, da bei diesen zu einem späteren Zeitpunkt weitere Endoleaks detektiert werden konnten (19 Typ-IIa- Endoleaks, 4 Typ-IIb-Endoleaks).	35
<b>Abb. 14:</b>	Altersverteilung in Abhängigkeit vom Vorliegen eines Endoleaks in der weiblichen Patientenkohorte	36
<b>Abb. 15:</b>	Altersverteilung in Abhängigkeit vom Vorliegen eines Endoleaks in der männlichen Patientenkohorte	37
<b>Abb. 16:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der ersten postinterventionellen Kontrolle in Abhängigkeit vom Alter	38
<b>Abb. 17:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle im Follow-Up in Abhängigkeit vom Alter	40
<b>Abb. 18:</b>	Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (n = 1041)	42
<b>Abb. 19:</b>	Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und letzte Untersuchung)	44
<b>Abb. 20:</b>	Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (erste und nachfolgende Untersuchung)	46
<b>Abb. 21:</b>	Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (maximaler Größenunterschied)	47
<b>Abb. 22:</b>	Veränderung der Aneurysmagröße bis zur letzten Kontrolle (n = 154)	48

<b>Abb. 23:</b>	Verteilung der verschiedenen Endoleaktypen im Vergleich CEUS vs. CT	49
<b>Abb. 24:</b>	Unterschiede bei den Messungen der CEUS/CT-Paare (n = 303)	50
<b>Abb. 25:</b>	Reinterventionen zwischen den Vergleichsuntersuchungen durch MS-CT und CEUS (n = 12)	51
<b>Abb. 26:</b>	Axiale Darstellung eines Typ-IIb-Endoleaks in der CTA. Abgebildet sind der Aneurysmasack (orangener Pfeil), die perfundierten Iliakalschenkel (grüne Pfeile) sowie ein Endoleak Typ IIb (blauer Pfeil).	66
<b>Abb. 27:</b>	Axiale Darstellung einer CT/CEUS-Bildfusion. Die orangenen Pfeile zeigen auf den Aneurysmasack, die grünen Pfeile zeigen auf das perfundierte Stentlumen.	66
<b>Abb. 28:</b>	Axiale Darstellung einer CT/FKDS-Bildfusion. Die orangenen Pfeile zeigen auf den Aneurysmasack, die grünen Pfeile zeigen auf das perfundierte Stentlumen. Rechts unten ist die Kalibrierung beider Verfahren dargestellt.	67

## 10 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b>	Rupturrisiko des AAA (adaptiert nach: Kortmann (21))	5
<b>Tab. 2:</b>	Kriterien für die Auswahl eines individuell geeigneten Therapieverfahrens (adaptiert nach: Kortmann (14))	9
<b>Tab. 3:</b>	Unvorteilhafte Voraussetzungen für eine Stentimplantation (adaptiert nach: Kortmann (14))	12
<b>Tab. 4:</b>	Klassifikation der Endoleaks (adaptiert nach: Rübenthaler und Dudeck (3, 6, 39))	20
<b>Tab. 5:</b>	Ein- und Ausschlusskriterien der Patienten	24
<b>Tab. 6:</b>	Gegenanzeigen für die intravenöse Verabreichung von SonoVue® (Fachinformation)	29
<b>Tab. 7:</b>	Verteilung von Geschlecht und Alter in der Patientenkohorte	31
<b>Tab. 8:</b>	Verteilung der Endoleaks in der ersten Kontrolluntersuchung nach EVAR durch CEUS (n = 121)	33
<b>Tab. 9:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung im Follow-Up nach EVAR durch CEUS (n = 173)	34
<b>Tab. 10:</b>	Verschluss der in der ersten Kontrolle detektierten Endoleaks im zeitlichen Verlauf	36
<b>Tab. 11:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der ersten postinterventionellen Kontrolle in Abhängigkeit vom Alter (Prozentangaben in Klammern)	38
<b>Tab. 12:</b>	Punktprävalenz der Endoleaks in den verschiedenen Altersgruppen zum Zeitpunkt der primär aufgezeichneten Kontrolluntersuchung nach EVAR	39
<b>Tab. 13:</b>	Verteilung der Endoleaks zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle im Follow-Up in Abhängigkeit vom Alter (Prozentangaben in Klammern)	40
<b>Tab. 14:</b>	Punktprävalenz der Endoleaks in den verschiedenen Altersgruppen zum Zeitpunkt der zuletzt durchgeführten Kontrolluntersuchung im Follow-Up	41

<b>Tab.15:</b>	Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (n = 1041)	41
<b>Tab. 16:</b>	Vereinfachte Darstellung der Unterschiede zwischen den Gruppen (x = signifikanter Unterschied, + = signifikanter Unterschied mit mittlerer bis hoher Effektstärke, leeres Feld = kein signifikanter Unterschied)	43
<b>Tab. 17:</b>	Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und letzte Untersuchung)	44
<b>Tab. 18:</b>	Verlauf der Aneurysmagrößen der verschiedenen Endoleaktypen (erste und nachfolgende Untersuchung)	45
<b>Tab. 19:</b>	Verlauf der Aneurysmagröße der verschiedenen Endoleaktypen (maximaler Größenunterschied)	46
<b>Tab. 20:</b>	Verteilung der verschiedenen Endoleaktypen im Vergleich CEUS vs. CT	49

## **11 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich in dieser herausfordernden Phase meiner akademischen Laufbahn unterstützt und die Anfertigung meiner Dissertation ermöglicht haben.

Besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Johannes Rübenthaler für die hervorragende Betreuung und freundliche Hilfe aussprechen. Der regelmäßige Austausch hat mich auf fachlicher Ebene stark beeinflusst und auch persönlich sehr geprägt.

Großer Dank gilt auch meinen Eltern Karin und Reinhold Nelles, deren liebevolle und uneingeschränkte Unterstützung mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglicht haben.

## **12 Lebenslauf**

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird auf den Anhang des Lebenslaufs verzichtet.

## 13 Affidavit



Nelles, Elena

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

### **Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS) in der Verlaufsbeurteilung bei Patienten nach endovaskulärer Aortenreparatur (EVAR)**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Düsseldorf, 04.04.2022

Ort, Datum

Elena Nelles \_\_\_\_\_

Unterschrift Doktorandin